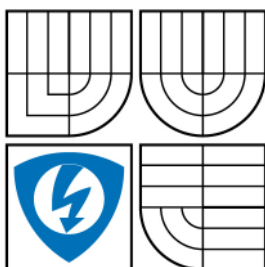


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## ČTECÍ ZAŘÍZENÍ MIKROTEČEK

MICRODOTS SCANNER

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

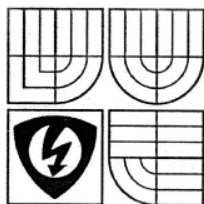
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. LUDĚK ČERVINKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. KAREL HORÁK, Ph.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Kybernetika, automatizace a měření

*Student:* Červinka Luděk, Bc.  
*Ročník:* 2

*ID:* 88701  
*Akademický rok:* 2007/08

**NÁZEV TÉMATU:**

**Čtecí zařízení mikroteček**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a podle pokynů vedoucího práce sestavte průmyslový prototyp čtecího zařízení bezpečnostních mikroteček. Navrhněte možnosti drátového a bezdrátového přenosu obrazu ze zařízení na domovskou stanici, kde proběhne zpracování obrazu mikrotečky a případné vyhledání nalezeného kódu v databázi.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2>  
<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline>

*Termín zadání:* 3.12.2007

*Termín odevzdání:* 26.5.2008

*Vedoucí projektu:* Ing. Karel Horák

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.  
předseda oborové rady



## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

**Vysoké Učení Technické v Brně**  
**Fakulta Elektrotechniky a Komunikačních Technologí**  
**Ústav Automatizace a Měřicí Techniky**

## **Čtecí zařízení mikroteček**

### **Diplomová práce**

Ústav:	Automatizace a měřicí techniky
Student:	Bc. Luděk Červinka
Vedoucí:	Ing. Karel Horák, Ph.D.

#### **Abstrakt :**

Tato diplomová práce “Čtecí zařízení mikroteček” pojednává o problematice nalezení a analyzování mikrotečky. Mikrotečky jsou velmi malé objekty, které se používají pro ochranu objektů.

Projekt se skládá ze dvou částí. V první části je popsán hardwarový návrh čtecího zařízení. Řeší se zde problematika osvětlení, výběru optiky, návrhu bezdrátového přenosu dat, konstrukce snímače a volba kamerového chipu.

Druhá část popisuje softwarové řešení. Popisuje obraz, hranové detektory, odstraňování šumu z obrazu a použitou metodu RANSAC.

**Klíčová slova:** Mikrotečky, Analýza obrazu, RANSAC, Optika, Osvětlení

**Brno University of Technology**  
**Faculty of Electrical Engineering and Communication**  
**Department of Control, Measurement and Instrumentation**

## **Microdots scanner**

Thesis

Specialisation of study	Cybernetics, Control and Measurement
Student:	Bc. Luděk Červinka
Supervisor:	Ing. Karel Horák, Ph.D.

### **Abstract :**

This master's thesis "microdots scanner" deal with the problem how to find and analyze the microdots. The microdots are very small object. The microdots are applied in protection object. The project purpose is to find and to analyze the microdots.

The project consists from two parts. A first part describes the hardware construction of sensor. In the hardware solution is description design of illumination, selection of optics, wireless data transfer, construction of scanner and selection of camera chip.

The second part is about software solution, description of image, edge detector, noise in image and RANSAC method

**Key words:** Microdots, Image analyzing, RANSAC, Optic, Illumination

## **Bibliografická citace**

ČERVINKA, Luděk. *Čtecí zařízení mikroteček*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 76s., 10příloh. Vedoucí práce Karel Horák.

## **P r o h l á š e n í**

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "něco" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

## **P o d ě k o v á n í**

Děkuji tímto Ing. Karlu Horákovi, Ph.D za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

V Brně dne :

Podpis:

<b>1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY .....</b>	<b>9</b>
1.1 Současné problémy .....	9
1.2 Co to je Mikrotečka? .....	10
1.3 Výhody čtecího zařízení .....	11
<b>2. TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
2.1 Světlo .....	12
2.1.1 Podstata světla .....	12
2.1.2 Světlo jako vlna .....	13
2.1.3 Druhy osvětlení .....	14
2.2 Zdroje světla .....	15
2.2.1 LED diody .....	15
2.2.2 Žárovky .....	16
2.2.3 Lasery .....	16
2.3 Optické jevy .....	17
2.3.1 Základní principy optiky .....	17
2.4 CCD technologie .....	18
2.4.1 Princip činnosti CCD snímače .....	18
2.5 CMOS technologie .....	21
2.6 Snímání barev .....	22
2.7 Rozlišení chipu .....	25
2.8 Obraz .....	26
2.8.1 Obraz jako dvourozměrná funkce .....	26
2.9 Digitální obraz .....	28
2.9.1 Histogram .....	29
2.9.2 Konvoluce obrazových dat .....	31
2.9.3 Šumové filtry .....	32
2.9.4 Hranové detektory .....	34
2.10 Detekce objektu v obraze .....	41
<b>3. VLASTNÍ VYPRACOVÁNÍ .....</b>	<b>43</b>
3.1 Návrh osvětlení .....	43



3.1.1 Barva světla.....	43
3.1.2 Úhel osvětlení .....	44
3.1.3 Zhodnocení osvětlení .....	48
3.2 Výběr optiky.....	49
3.2.1 Všeobecné požadavky na optiku.....	49
3.3 Zvolená optika.....	56
3.4 Bezdrátový přenos dat.....	58
3.5 Kamerový modul Micron.....	58
3.6 Konstrukční návrh krytu pro kamerový modul.....	60
3.7 Analýza snímku.....	63
3.7.1 Adaptivní hranování.....	63
3.7.2 Detekce hranic mikrotečky .....	69
<b>4. ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
<b>5. POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>74</b>

Obrázek 1.1 Ukázka mikrotečky .....	10
Obrázek 2.1 Infračervené LED diody .....	14
Obrázek 2.5 Řez části dvoufázové CCD struktury s překrýváním bran [8] .....	19
Obrázek 2.6 Schéma FF chipu [9].....	20
Obrázek 2.7 Struktura IT chipu [9].....	21
Obrázek 2.8 Barevné prostory RGB (CMY).....	23
Obrázek 2.9 Barevná struktura CCD chipu prostoru RGB [9].....	24
Obrázek 2.10 Měsíc.....	26
Obrázek 2.11 Měsíc – mapa hodnot jasu .....	27
Obrázek 2.12 Vrstvení barev v matici.....	28
Obrázek 2.13 Dům .....	29
Obrázek 2.14 Histogram domu .....	30
Obrázek 2.15 Konvoluční schéma.....	31
Obrázek 2.16 Grafické vyjádření konvoluce.....	32
Obrázek 2.17 Možné profily hran.....	35
Obrázek 2.18 Profil hrany s 1% šumem a její 1. derivace .....	36
Obrázek 2.19 Hrana s 5% šumem a její 1. derivace.....	37
Obrázek 2.20 Hrana s 10% šumem a její 1. derivace.....	37
Obrázek 2.21 Použití průměrovacího filtru.....	38
Obrázek 2.22 Zpracování obrazu .....	41
Obrázek 2.23 Body vyhranovaného snímku .....	42
Obrázek 2.24 Vybrány dva body a sestavena přímka .....	42
Obrázek 3.1 Strana A .....	45
Obrázek 3.2 Strana B.....	45
Obrázek 3.3 Strana B s hologramem.....	46
Obrázek 3.4 Úhel dopadu světla pro hologram .....	47
Obrázek 3.5 Úhel dopadu světla pro tečky.....	47
Obrázek 3.6 Snímaná plocha.....	49
Obrázek 3.7 znak „B“ s minimem pixelů.....	51
Obrázek 3.8 Znak „8“ s minimem pixelů.....	51

Obrázek 3.9 Schéma hloubky ostrosti.....	53
Obrázek 3.10 Hloubka ostrosti s clonovým číslem $F = 1,8$ [11].....	55
Obrázek 3.11 Hloubka ostrosti s clonovým číslem $F = 9$ [11].....	55
Obrázek 3.12 Hloubka ostrosti s clonovým číslem $F = 22$ [11].....	56
Obrázek 3.13 Použitá optika .....	57
Obrázek 3.14 Kamera firmy Micron.....	59
Obrázek 3.15 Otevřený snímací modul .....	61
Obrázek 3.16 Ostřicí kroužek.....	61
Obrázek 3.17 Nastavení ostřicího kroužku .....	62
Obrázek 3.18 Čtečka mikroteček .....	62
Obrázek 3.19 Postup zpracování snímku .....	63
Obrázek 3.20 Histogram mikrotečky .....	64
Obrázek 3.21 Vyprahovaný snímek.....	65
Obrázek 3.22 Vyprahovaná mikrotečka bez okolí .....	66
Obrázek 3.23 Vyhranovaná mikrotečka .....	67
Obrázek 3.24 Rozmazaný snímek mikrotečky .....	68
Obrázek 3.25 Segmentovaná rozmazaná mikrotečka.....	68
Obrázek 3.26 Nalezení hranic mikrotečky .....	70
Obrázek 3.27 Zobrazený detail tečky.....	71
Obrázek 4.1 Laboratoř počítačového vidění .....	73

## 1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

### 1.1 SOUČASNÉ PROBLÉMY

V současné době je ohromný nárůst krádeží majetku. A nejedná se jen o drobné krádeže peněženek v tramvaji. Jsou to krádeže především drahých věcí jako například automobilů, DVD, hodinek a dalších. U těchto objektů se pak velice těžce prokazuje pravost či vlastnictví při nalezení, protože např. u automobilů organizované gangy dokonale automobil přestříkají popřípadě kompletně rozeberou a bývalému majiteli zůstanou jen oči pro pláč.

Proto ochrana těchto předmětů je v současné době předmětem mnoha rozdílných přístupů k jejich ochraně. Samozřejmě dobrá a kvalitní ochrana musí být i dobře zaplacená. Jako vzorový příklad si zvolím již výše zmíněné automobily. Zde se nabízí velké množství způsobů, jak své vozidlo chránit. Zmínil bych dva základní typy ochran:

a) *preventivní*

b) *identifikační*

První typ se zaměřuje na prevenci proti krádeži a snaží se různými způsoby lupičům zabránit (spíše znesnadnit) provedení krádeže. Zatímco u druhého typu se jedná o usnadnění nalezení nebo identifikaci zcizených automobilů. Je zřejmé, že optimální je kombinace obou těchto metod.

Avšak jak je patrné ze statistiky krádeží automobilů pro rok 1998 (tab. 1), tak jen 16,45% případů bylo objasněno.

Celkem	Objasněno	Škody (v tis.)
27 889	4590	3 814 775

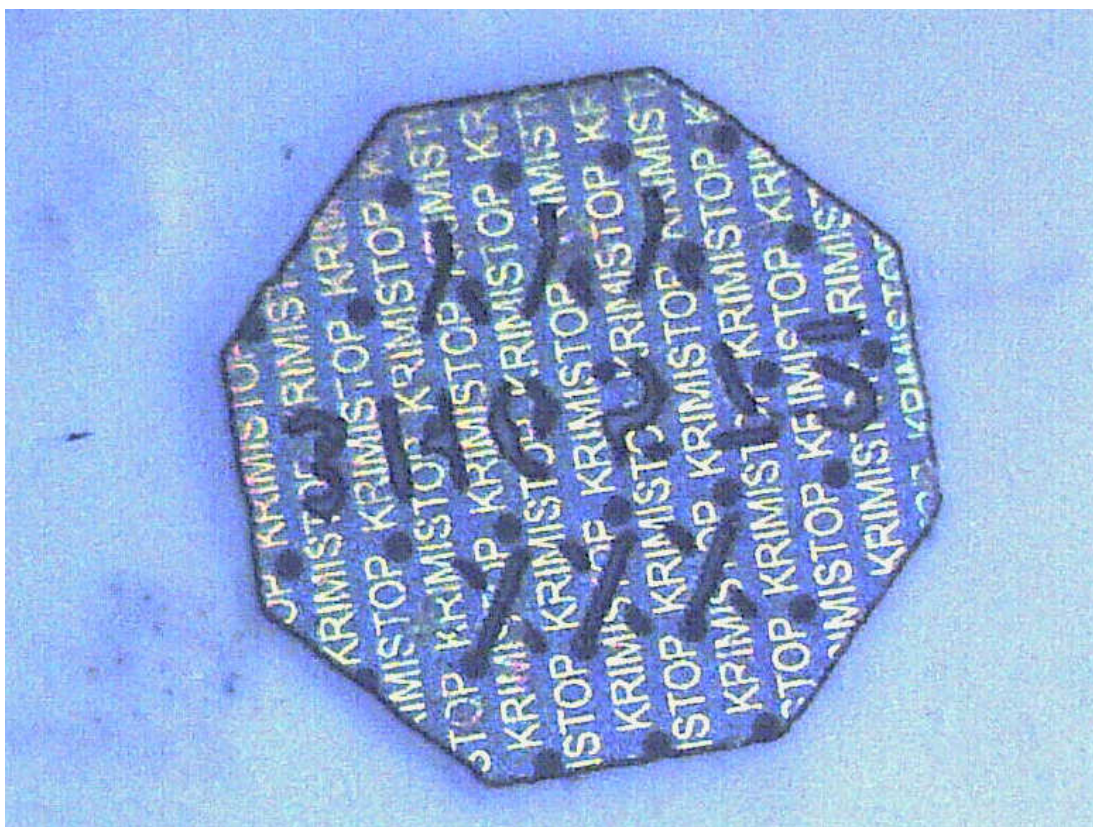
**Tab. 1.1** Krádeže v roce 1998 [2]

Navíc množství automobilů se stále zvyšuje, tudíž se i zvyšuje množství zcizených vozů. Proto je vhodné se nejen zaměřit na prevenci, ale i na následné dohledání.

## 1.2 CO TO JE MIKROTEČKA?

Problém identifikace nalezených aut bývá především v tom, že organizované gangy do několika dní či dokonce hodin dokáží kompletně auto rozebrat. Jednotlivé díly je pak již velice složité identifikovat a tím objasnit celou krádež.

Zde se jeví jako velice vhodné použití mikroteček. Jedná se o velice malá polyesterová zrnka o průměru 0,5 - 1 mm a tloušťce 0,1 mm. Na této malé ploše je zapsán ( laserem vypálen ) jedinečný identifikační kód, který je zaznamenán v centrální databázi. Tento kód se skládá z 5, 12 nebo ze 17 znaků v rozsahu 1-9 a A-Z. Z druhé strany je mikrotečka pokryta hologramem s názvem výrobce. Tento



**Obrázek 1.1** Ukázka mikrotečky

hologram neslouží jen k identifikaci výrobce, ale i k identifikaci, jestli je mikrotečka přilepená opačně.

Mikrotečka se na povrch přilepuje ekologicky nezávadným lepidlem nebo lakem, který reaguje na ultrafialové světlo. U automobilu, pro který byla tato

technologie navržena, se nanáší přibližně na 30 míst a to ve velkém počtu ( přibližně 5000 kusů ). To je hlavní výhoda mikroteček. Jejich počet. Odstranění takového množství nanesených mikroteček se neobejde bez mechanického poškození. Čímž by došlo k znehodnocení celé součásti kradeného vozu. Navíc by o takové zboží, které je snadno identifikovatelné, ztratili zájem překupníci a prodejci kradených vozů.

### **1.3 VÝHODY ČTECÍHO ZAŘÍZENÍ**

Tento projekt se zabývá návrhem a konstrukcí průmyslového čtecího zařízení pro mikrotečky. Důvod, proč používat přístroj na snímání a zpracování obrazu, je rychlost a opakovatelnost měření. Při použití průmyslového snímacího zařízení v praxi se jejímu uživateli otevírají možnosti celého digitálního světa. Může takovéto zařízení být propojeno přes počítač k internetu, kde může takřka okamžitě a automaticky kontrolovat mezinárodní registr mikroteček.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 SVĚTLO

#### 2.1.1 Podstata světla

Co je světlo? Tak tuto otázku si klade lidstvo odnepaměti. A dá se říci, že až doposud nedokážeme na tuto otázku plnohodnotně odpovědět. Je to spojeno s jedním paradoxem. V současné fyzice známe dva druhy hmoty. Energii a látku. Každá z těchto projevů hmoty má svá vlastní specifika, kterými se pevně odděluje od druhé formy hmoty. Bohužel dnes již víme, že světlo se chová jako obě tyto formy hmoty.

Uvedl bych některé základní vlastnosti světla

- šíření světelné vlny se řídí podle Huygensova principu
- nemá žádnou hmotnost
- nemá žádný elektromagnetický náboj
- má hybnost

Zdánlivé protiklady těchto vlastností se nazývají dualita. Tzn., že při daných pokusech se světlo chová jako záření a při jiných jako proud částic o určité hybnosti.

Newton navrhl metodiku pro světlo, která s ním pracovala jako s přímými paprsky. Díky tomu se dalo se světlem pracovat pomocí klasické geometrie. Vznikly základní zákony odrazu, dopadu a lomu světla. Tento přístup ke světlu byl teprve překonán Yongovým pokusem. Ten odhalil, že světlo se nešíří jako přímá vlna. Pro popis Yongova pokusu bylo použito Huygensova principu šíření vlny.

Další zlom nastal, když z Maxwellových rovnic vyplynulo, že světlo je forma elektromagnetické vlny. Z Maxwellových rovnic se navíc dala spočítat rychlost světla. Tato rychlost je ve vakuu konstantní a s vyšší hustotou prostředí klesá.

Poslední velkým zvratem, co se týká popisu světla, bylo popsání fotoelektrického jevu Einsteinem. Einstein aplikoval Planckovu kvantovou teorii pro popis tohoto jevu. Tím vlastně dokázal, že světlo má i částicový charakter tzv. dualitu světla. Na základě tohoto objevu se setřely hranice mezi energií a látkou,



protože v některých případech se energie chová jako látka a v jiných látka jako energie (dualismus částic). S tím se pro popis světla dá i využít pravděpodobnostní Schrödingerova rovnice.

### 2.1.2 Světlo jako vlna

Jak bylo napsáno výše, světlo je viditelná část elektromagnetické vlny. A jako každá vlna má i světelná vlna charakteristické parametry, kterými lze tuto vlnu popsat.

#### Vlnová délka

Základním parametrem každé vlny je její vlnová délka  $\lambda$ . Ta se dá určit z podílu její rychlosti a frekvence.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad [2.1]$$

Jelikož rychlost světelné vlny se blíží rychlosti světla ve vakuu i v běžném prostředí, můžeme proto tento vzorec upravit na:

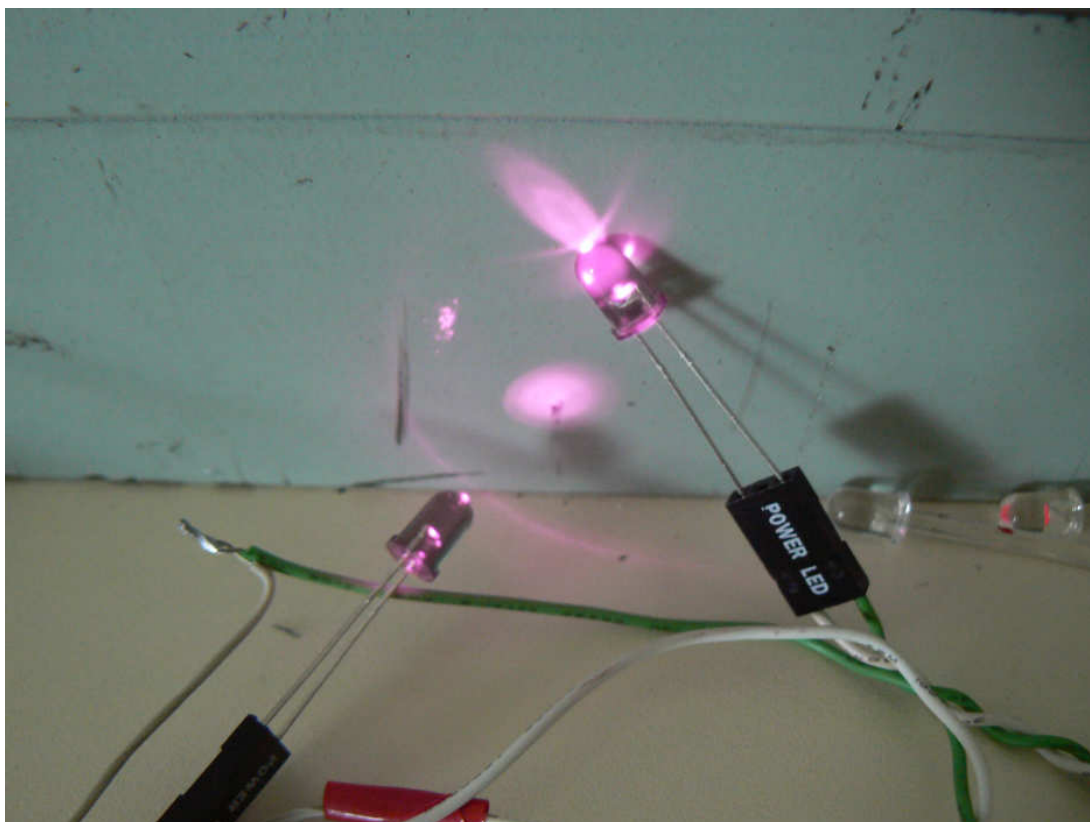
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [2.2]$$

kde  $c = 2,99792 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Vlnová délka je stěžejní pro popis světla, protože barva světla se liší právě podle rozdílu vlnové délky. Viditelné světlo se pohybuje v rozsahu od 380 nm po 720 nm. Přičemž hodnota vlnové délky 380 nm odpovídá fialové barvě a horní hranice 720 nm barvě červené. Pokud projdeme celé toto spektrum dostaneme posloupnost barev: *fialová, modrá, zelená, žlutá, oranžová, červená*. Lidské oko je nejvíce citlivé na zelenou a žlutou barvu. Naopak nejméně je citlivé na krajní hodnoty světelného spektra a to fialovou a červenou.



Za zmínku stojí i vlnové délky nad a pod hranicí viditelného světla. Pro lidské oko je sice tato hodnota elektromagnetického záření neviditelná, ale snímací kamery s CCD technologií jsou schopny toto záření zaznamenat a vhodně převést i pro lidské oko. Navíc pokud přístroj navrhne tak, aby bylo použito jako osvětlení infračervené nebo ultrafialové světlo, má to i mnoho výhod jako např. neoslňení řidiče při pořízení snímku v noci, různá bezpečnostní opatření, ...



**Obrázek 2.1** Infračervené LED diody

### 2.1.3 Druhy osvětlení

Pro správné použití osvětlovací techniky při pořízení snímků používáme dva druhy osvětlení:

- *Ambientní*
- *Difúzní*

Ambientní osvětlení je jas pozadí. Lze ho přirovnat k světlu v místnosti, kde není žádný aktivní zdroj světla (např. žárovka). Osvícení je dáno pouze odrazem

vnějšího světelného zdroje (slunce). Takovéto světlo má konstantní intenzitu po celém prostoru.

Difúzní osvětlení naproti tomu odpovídá přímému osvětlení. K takovému osvětlení je použito aktivního zdroje světla (LED, zářivka, ..). Výhodou tohoto osvětlení je jeho plná nastavitelnost.

## 2.2 ZDROJE SVĚTLA

Pro osvětlení je v dnešní době možné použít mnoho druhů různých svítidel. Bude zde pojednáno jen o základních typech, která se nejvíce používají v technické praxi.

### 2.2.1 LED diody

Jedná se zde o využití P-N přechodu u polovodičových materiálů. Pokud máme klasickou diodu s P-N přechodem, vzniknou nám tzv. vodivostní pásy. Tento pás má pevně definovanou šířku, která zaleží na druhu materiálů, z kterých je P-N přechod složen. Pokud elektron tento pás překoná, uvolní se energie rovna šířce zakázaného pásu. Tato energie se ve většině materiálu zachytí krystalovou mřížkou materiálu, ale u některých, jako např. arsenidu gallitém, může být energie uvolněna v podobě fotonu o energii  $hf$  a vlnové délce:

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} \quad [2.3]$$

$h$  – Planckova konstanta (  $6,626 \times 10^{-34}$  J·s )

$E_g$  – energie šířky zakázaného pásu

$c$  – rychlost světla ve vakuu (  $2,9979 \times 10^8$  m·s<sup>-1</sup> )

Za největší výhody LED diod můžeme považovat, že neblíkají, jsou vysoce účinné a mají příznivou cenu. Z tohoto důvodu jsou hojně užívané i v praxi.

### 2.2.2 Žárovky

Každý materiál o určité teplotě, která je vyšší než 0 K (absolutní nula) vyzařuje tepelné záření. Klasické žárovky pracují na principu ohřevu vodiče, když jím prochází proud. Při průchodu proudy vodičem dochází k interakci elektronu s krystalovou mřížkou vodiče => vodič se ohřívá. Takto zahřátý vodič (např. Wolfram) od určité teploty rozežřeje svůj povrch natolik, že začne vyzařovat i ve viditelném spektru záření.

Jedná se o velice energeticky nešetrnou metodu osvětlení. Je to z toho důvodu, že tepelné ztráty jsou přibližně 90% energie (záleží na druhu materiálu).

Za výhodu lze považovat jejich cenu a dobrou svítivost.

### 2.2.3 Lasery

Zkratka laser označuje „light amplification by the stimulated emission“ což lze přeložit jako „zesilování světla stimulovanou emisí záření“. U laseru, jak název napovídá, se využívá stimulovaná emise. Představme si, že se atom nachází v energetické úrovni  $E_0$  nebo v energetické úrovni  $E_x$ , přičemž  $E_0 < E_x$ . Atom se může z jednoho stavu dostat do druhého pomocí těchto způsobů:

- *Absorpce*
- *Spontánní emisí*
- *Stimulovanou emisí*

Pro činnost laseru je důležitá *stimulovaná emise*. Při ní do atomu o excitovaném stavu (stavu s vyšší energií) vnikne foton o určité vlnové délce. Atom přejde na nižší hodnotu energie a přitom vyzaří dva fotony o vlnové délce  $\lambda$  shodné s vlnovou délkou fotonu, který do atomu vnikl.

$$hf = E_x - E_0 \quad [2.4]$$

kde  $hf$  – energie fotonu [ J·s; s<sup>-1</sup> ]

## 2.3 OPTICKÉ JEVY

Optika je část fyziky, která se zabývá světlem, jeho šířením v různých prostředích a na jejich rozhraní, zabývá se vzájemným působením světla a látky, zkoumá podstatu světla a další jevy spojené se světlem.

### 2.3.1 Základní principy optiky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, tak i optika není jednoznačně rozdělitelná.. Obecně můžeme optiku rozdělit na:

1. Geometrickou optiku
2. Fyzikální optiku
3. Kvantovou optiku

Každá z těchto skupin zahrnuje širokou oblast optiky. V praxi se nejčastěji při návrhu optických přístrojů využívá poznatků z klasické optiky ( geometrické ).

Geometrická optika je nejjednodušší pohled na optiku. Vychází z předpokladu, že předměty, okolo nichž se šíří elektromagnetická vlna, jsou mnohem větší než vlnová délka elektromagnetické vlny. V takovémto případě můžeme vlnovou povahu světla zanedbat a jeho chování lze snadno popsat pomocí paprsků a geometrickými zákony. Zákony geometrické fyziky lze odvodit z Fermatova principu, který říká: „*Světlo se šíří z jednoho bodu do druhého po takové dráze, že doba potřebná k proběhnutí této dráhy je extrémní* [12].“

Z toho plynou tři základní zákony geometrické optiky:

- *V homogenním a izotropním prostředí se světlo šíří přímočaře ve tvaru světelných paprsků*
- *Světelné svazky se šíří na sobě nezávisle*
- *Na rozhraní dvou homogenních a izotropních prostředí se světelné paprsky řídí zákonem lomu a zákonem odrazu.*

### Index lomu

Pokud se světlo dostane do jiného prostředí, než je vakuum, tak se jeho rychlost snižuje. Obecně platí, že čím vyšší hustota prostředí, tak tím se rychlost elektromagnetické vlny snižuje ( fotony při průchodu látkou interagují s atomy látky a tím se zpomalují ).

Proto se zavádí pojem *index lomu*, který udává poměr rychlosti světla ve vakuu  $c$  k rychlosti světla v prostředí  $v_\lambda$ .

$$n = \frac{c}{v_\lambda} \quad [2.5]$$

Pro srovnání uvádím tabulku různých materiálů a jejich indexů lomu.

Látka	Index lomu $n$	Rychlost světla v látce $v_\lambda$
Vakuum	1	$c$
Vzduch	1,0003	$0,9997c$
Voda	1,33	$0,75c$
Sklo	$1,4 < n < 1,8$	$0,56c < v < 0,71c$
Diamant	2,4	$0,42c$
Křemík	3,5	$0,29c$

**Tab. 2.1** Indexy lomu látek [12]

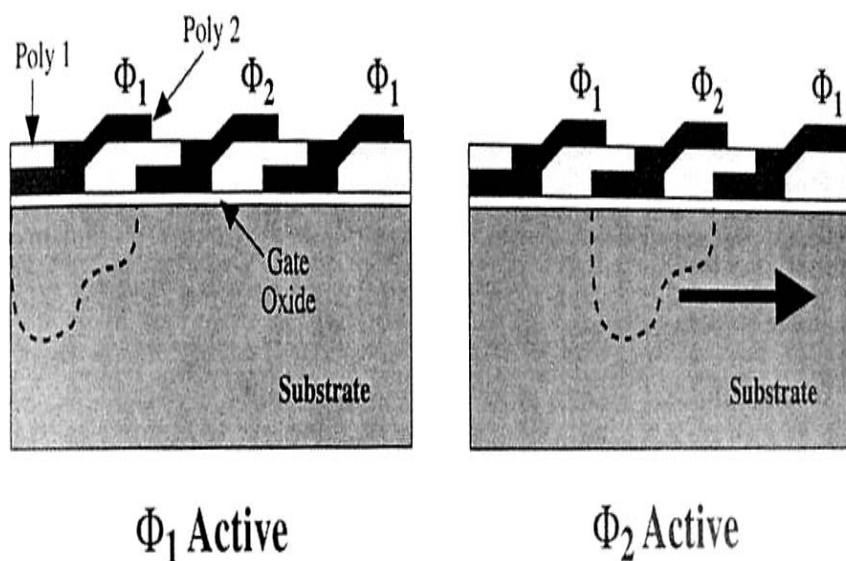
## 2.4 CCD TECHNOLOGIE

### 2.4.1 Princip činnosti CCD snímače

Charge Coupled Device neboli zkráceně CCD původně vznikl jako druh paměti pro počítače, ale později se ukázalo, že díky vysoké citlivosti na světlo má mnohem lepší využití pro snímání obrazu.

Princip činnosti je relativně jednoduchý. Na polovodičovém substrátu jsou vytvořeny potenciálové valy. Když dopadne foton na chip, tak se generuje pár

elektron - díra a díky vytvořeným potenciálovým bariérám se náboj udrží na daném místě. Takto získaný náboj je možné vhodným přepólováním přelévat do vedlejší potenciálové bariéry. Tento postup slouží k vyčítání nábojů. Je nutné dodat, že náboj je nutné převést na napětí a následně převést na digitální signál. Potom velikost napětí udává množství jasu, který dopadl do jedné potenciálové bariéry, kterou nazýváme pixel.



**Obrázek 2.2** Řez části dvoufázové CCD struktury s překrýváním bran [8]

Obecně jde CCD chipy rozdělit do dvou kategorií podle konstrukce:

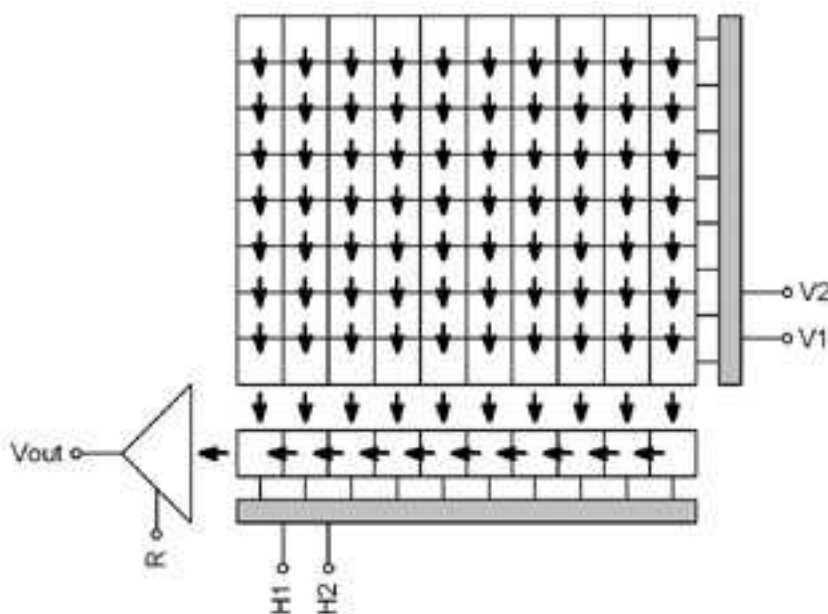
- *Lineární CCD*
- *Maticové CCD*

U *lineární* konstrukce tvoří chip jen jeden řádek. Tato konstrukce umožňuje snímat jen jednorozměrný obraz. Na první pohled se může zdát, že je to závažné omezení, ale u jednoduchých přístrojů jako je např. skener se snímáný obraz posouvá s definovanou rychlostí a z jednotlivých nasnímaných řádků se sestaví celý dvojrozměrný obraz. Díky tomu, že se zde nepoužívá maticový snímač dochází k významnému snížení ceny celého zařízení.

Oproti tomu u *maticových* chipů je celý obraz nasnímán v jednom kroku a poté se z celého chipu vyčte celý obraz. Maticová konstrukce je oproti lineární dražší a přesnější.

Podle způsobu vyčítání z maticové struktury rozeznáváme další členění chipů:

- a) *Full Frame (FF)* – Při použití FF je nutná mechanická závěrka. Celý chip je osvětlen a mechanická závěrka přeruší za definovaný časový interval tok dopadajícího světla na plochu chipu. Jakmile je závěrka uzavřena, tak se vyčítá obraz z chipu. Kdyby se data vyčítala při otevřené závěrce, došlo by ke zkreslení obrazu.



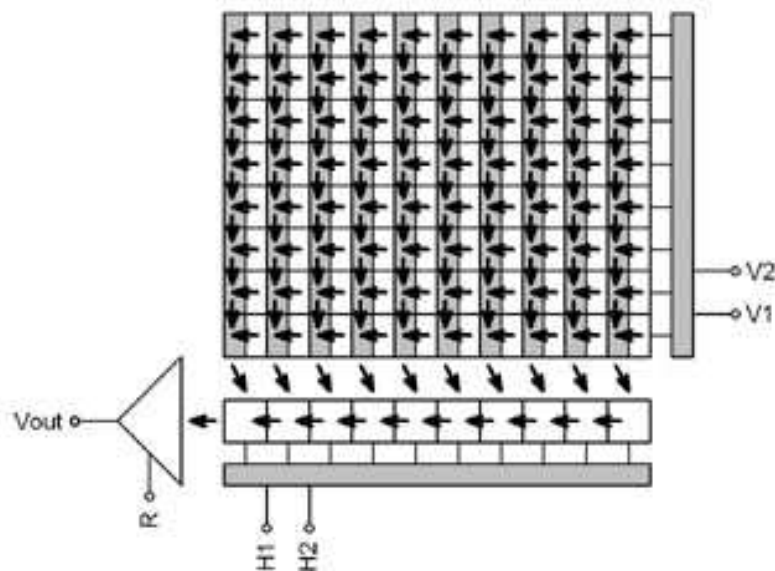
Obrázek 2.3 Schéma FF chipu [9]

- b) *Frame Transfer (FT)* – Konstrukce chipu se proti FF skládá ze dvou oblastí. První oblast je shodná s fotocitlivou vrstvou u FF a druhá vrstva je odstíněna (světelně) od první. Poté, co je obraz nasnímán, tak se data z první vrstvy přesunou do druhé vrstvy (Storage Area – SA). Z druhé vrstvy se jednotlivé pixely vyčítají tradičním způsobem. Výhoda tohoto uspořádání je v tom, že přesun z první vrstvy do SA je mnohem rychlejší než samotné vyčítání maticové struktury. FT se také označuje jako elektronická závěrka.



Nevýhodou je, že odstínění není dokonalé a dochází k drobnému zkreslení dat.

- c) *Interline Transfer (IT)* – Princip jejich činnosti je podobný jako u FT, jen s tím rozdílem, že zacloněná plocha je střídavě prokládána s fotocitlivou plochou. Liché sloupce akumulují světlo a zastíněné sudé jsou překryty. Jakmile expozice skončí, tak jsou z lichých sloupců velice rychle přesunuty do sudých. Ze sudých se opět tradičním způsobem vyčítají obrazová data.



Obrázek 2.4 Struktura IT chipu [9]

## 2.5 CMOS TECHNOLOGIE

CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) technologie se začala využívat pro snímání obrazu mnohem později než CCD technologie. Jedná se o technologii používanou pro drtivou většinu integrovaných obvodů. Používá se na výrobu mikroprocesorů, pamětí a obrazových senzorů.

Zásadní rozdíl mezi CMOS a CCD je v tom, že CMOS pracuje na principu fotodiody. To znamená, že výstupem není náboj jako u CCD, ale proud. Na chipu jsou vytvořeny fotocitlivé prvky (fotodiody, fototranzistory).



Při dopadu světla na jejich povrch se generuje pár elektron – díra. Proud, který takto vznikne, je použit jako bázový proud k otevření tranzistoru. Tranzistor se otevře v závislosti na tom, jak mnoho párů elektron – díra vznikne. Čím více párů, tím je výstupní proud větší.

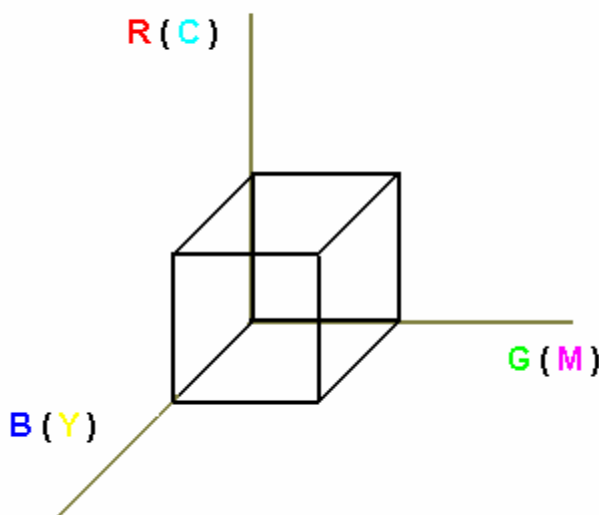
CMOS technologie má několik kladů oproti CCD a bohužel i záporů. Největší výhodou CMOS je její cena. Jak bylo uvedeno, CMOS technologie je velice rozšířená a proto je její cena mnohem nižší. Navíc na jednom chipu lze realizovat jak snímací prvky tak i následné zpracování obrazu. Spotřeba CMOS je oproti CCD také nižší. Bohužel nemají CMOS tak dobrou citlivost jako CCD. I CMOS má vyšší hodnoty šumu.

Jelikož jsou ale CMOS levnější, dá se přepokládat, že získají brzy dominantní postavení na trhu.

## 2.6 SNÍMANÍ BAREV

Při zobrazování barev na monitoru nebo při tisku fotografií používáme různé barevné prostory. Mezi dva základní patří RGB (Red – červená, Green – zelená, Blue – modrá) a CMY (Cian – azurová, Magenta – purpurová, Yellow – žlutá). Každý z těchto barevných prostorů se běžně používá k jinému účelu, ale to neznamena, že není použitelný univerzálně.

Oba tyto barevné prostory si můžeme představit jako krychli, kde na každé ose bude jedna z barev. V počátku souřadnic je hodnota každé barvy nulová. Již z toho je patrné, že při použití RGB bude hodnota barvy rovna černé, zatímco u CMY bude hodnota rovna bílé.



**Obrázek 2.5** Barevné prostory RGB (CMY)

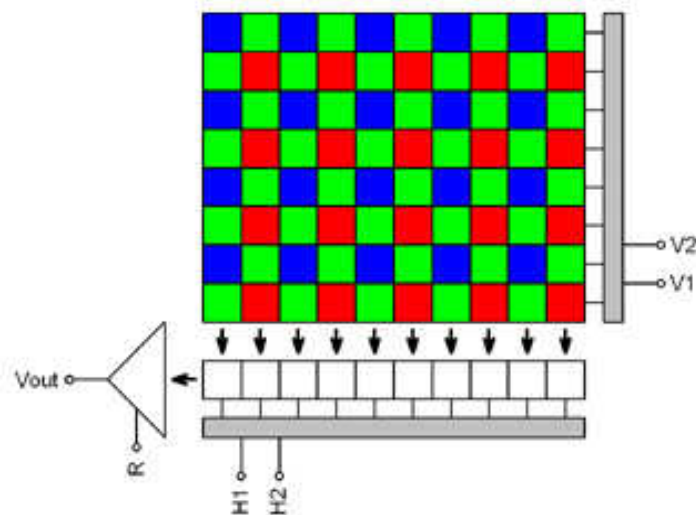
Míchání barev je pak vzájemná kombinace jednotlivých barev. V bodě maxim všech barev (vrchol krychle) nabývá prostor RGB bílou a CMY černou barvu. Dá se tedy říci, že prostory RGB a CMY jsou inverzní.

Při snímání barevného obrazu máme bohužel omezení v tom, že jsme schopni pomocí CCD chipu určit pouze intenzitu světla, které dopadá na jeden pixel. Proto pro snímání barevného obrazu se neobejdeme bez použití filtrů a to hned minimálně tří. Jak bylo psáno výše, používají se barevné prostory.

Obecně rozeznáváme dva druhy použití filtrů:

- a) Vytvoříme tři snímky a to každý s jiným filtrem. Výsledný obraz je pak součet těchto tří snímků.
- b) Filtry nanese přímo na plochu chipu. Potom pro pořízení barevného obrazu stačí jeden snímek.

Každý z těchto filtrů má své výhody i nevýhody. U monochromního chipu s použitím 3 filtrů je nesporná výhoda, že neztrácíme rozlišení chipu. Ve variantě b, kdy se jednotlivé filtry nanášou na jeden pixel (vždy jen jedna barva na jeden pixel), získáme vzor podobný šachovnicovému se třemi barvami. Zmenší se tak efektivní plocha chipu. Viz. Obrázek 2.6.



**Obrázek 2.6** Barevná struktura CCD chipu prostoru RGB [9]

Naproti tomu mají takovéto šachovnicové filtry jednu nespornou výhodu. Pořízení snímku je ve srovnání s metodou sčítání tří obrazů nesrovnatelně rychlejší a využívá se např. při realizaci barevných kamer.

Pro snímání CCD a CMOS barevných snímků se používá nejčastěji barevný prostor RGB. CMY propouští přibližně o 1/3 více světla než prostor RGB. Bohužel je jeho výroba velice obtížná. Vytvořit filtr, který bude propouštět složky R,G,B,C a Y není takový problém. Potíže ovšem nastávají, při výrobě složky M (purpurová). Jedná se totiž o filtr, který by měl propustit červenou a modrou a blokovat zelenou. Takovýto filtr je možné fyzikálně realizovat, ale vytvořit ho na CCD a CMOS struktuře je momentálně velký problém (co daná barva tak různá vlnová délka).

## 2.7 ROZLIŠENÍ CHIPU

Již dříve bylo zmíněno, že CCD chip se skládá z potenciálových bariér CMOS z fotocitlivých prvků ( fotodiod ). Bylo definováno, že každý z těchto prvků se rovná jednomu pixelu. Ale ještě nebylo nic zmíněno o tom, kolik takovýchto pixelů je na chipu.

K tomuto nám slouží pojem zvaný megapixel. Je to označení kolik milionů bodů obsahuje jeden snímek. Tento parametr není zcela závislý na fyzické velikosti chipu, ale na tom, kolik je jednotlivých pixelů na chipu. Pro ilustraci uvedu následující tabulku nejběžnějších rozlišení a jejich označení.

Megapixelů	Rozlišení	Video rozlišení
0,077	320 x 240	QVGA
0,3	640 x 480	VGA
0,5	800 x 600	SVGA
0,8	1024 x 768	XGA
1,0	1280 x 800	WXGA
1,3	1280 x 1024	SXGA
1,9	1600 x 1200	UXGA
2,3	1920 x 1200	WUXGA
3,1	2048 x 1536	QXGA
4,1	2560 x 1600	WQXGA
5,2	2560 x 1600	WQXGA
6,6	3200 x 2048	WQSXGA

**Tab. 2.2** Druhy rozlišení [18]

## 2.8 OBRAZ

V předchozích kapitolách bylo rozebráno jak snímat obraz pomocí CCD nebo CMOS technologie. Nyní budou vysvětleny možnosti zpracování obrazu v matematické (softwarové) části.

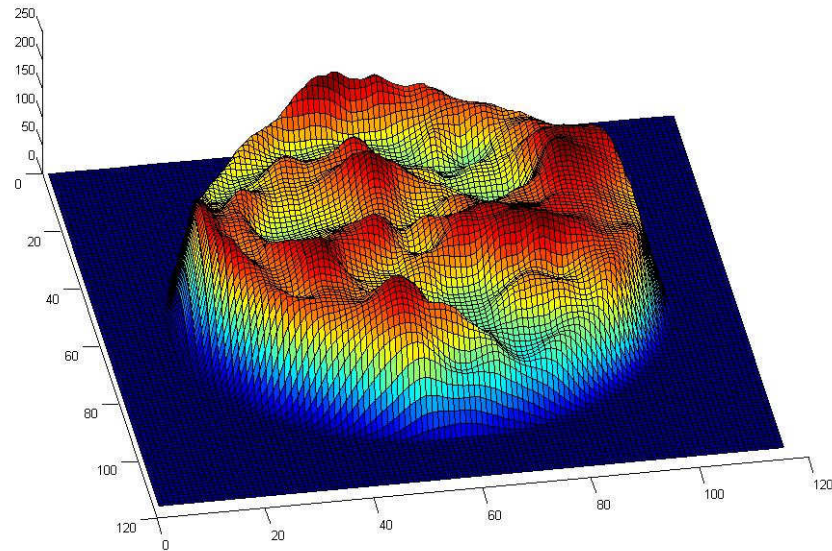
### 2.8.1 Obraz jako dvourozměrná funkce

Když se podíváme na obraz, zjistíme, že se vlastně jedná o dvourozměrnou funkci, kde souřadnice  $x$  a  $y$  jsou rozměry obrazu a  $f(x,y)$  je hodnota jasu v obraze (šedotónový obraz). Pokud používáme barevný obraz jedná se o funkci tří proměnných a to  $f(x,y,b)$ , kde parametr  $b$  udává o jakou barvu se jedná (hodnota parametru  $b$  je odvozena základě barevného prostoru, který je používán).

Principiálně rozeznáváme dva druhy obrazu: spojitý a diskrétní. Spojitý obraz je ve své podstatě matematická idealizace, protože žádný obraz co vnímáme není spojitý (fotony, které přenáší informaci o objektu jsou kvantované, dokonce i lidské oko obraz vzorkuje pomocí čípků a tyčinek). Používat spojitý obraz je vhodné při jeho matematické analýze.

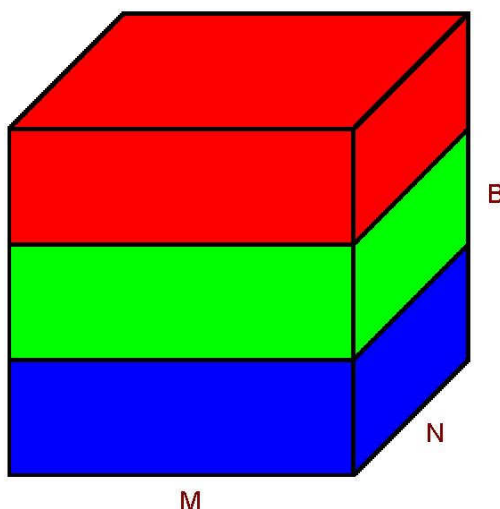


Obrázek 2.7 Měsíc



**Obrázek 2.8** Měsíc – mapa hodnot jasu

Oproti tomu je diskretní obraz velmi vhodný pro číslicové zpracování. Z hlediska velikosti paměti a fyzikálních principů snímání obrazu není ani možné pracovat se spojitým obrazem. Diskretní obraz je oproti obrazu spojitému zapsán v matici o rozměrech  $M \times N$ , kde  $M$  a  $N$  jsou rozměry obrazu tzv. pixely. Hodnota pixelu udává hodnotu jasu (u černobílých obrazů). Pokud se jedná o barevný obraz, tak dostáváme matici o rozměru  $M \times N \times B$ , kde  $B$  značí rozměr barev. Jak je vidět na obrázku, jednotlivé vrstvy matice jsou položeny na sobě.



**Obrázek 2.9** Vrstvení barev v matici

Mezi těmito dvěma typy obrazů se dá přecházet. Bohužel při přechodu ze spojitého k diskretnímu ztrácíme informace v obrazu obsažené. Při opačném přechodu (diskretní→spojitý) se naopak musíme uchýlit k aproximaci hodnot mezi prvky, čímž vzniká nepřesnost.

Abychom byli schopni vytvořit diskretní obraz ze spojitého, musíme spojitý obraz navzorkovat. K tomu se používá dvourozměrný Dirackův impuls (delta funkce), kde jeden puls udává jeden pixel. Pomocí posunutí můžeme takto navzorkovat celý obraz.

## 2.9 DIGITÁLNÍ OBRAZ

Jak již bylo popsáno výše, diskretní obraz se skládá z pixelů. Pixel je vlastně jedna hodnota obrazové funkce  $f(x,y)$ . Pixely mají stejné rozměry a jejich rozteč je konstantní (je uvažována čtvercová síť pixelů).

Při zpracování digitálního obrazu je vhodné používat metodiku, která je primárně určena pro digitální obraz (hranové filtry, histogramy,...).

### 2.9.1 Histogram

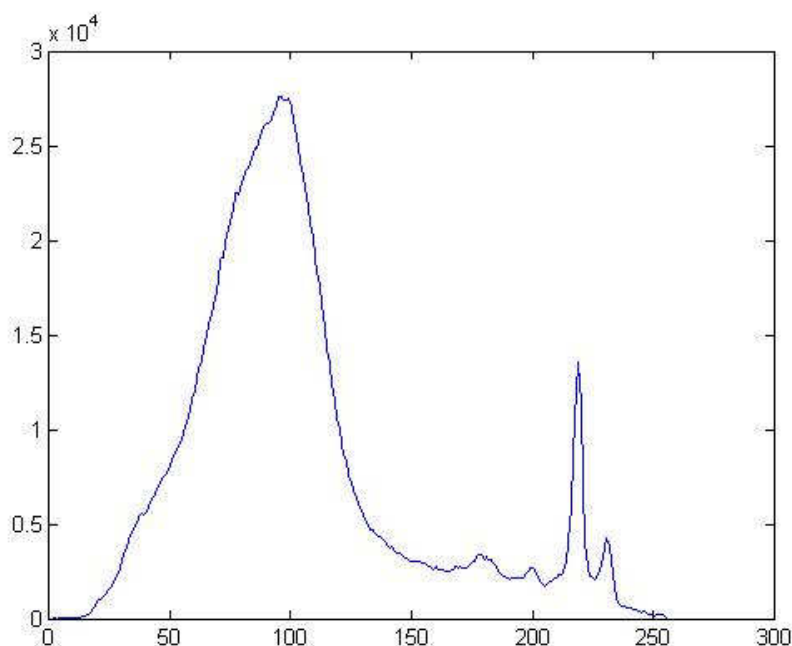
Histogram je jednou ze základních a přitom velice dobrých možností analýzy obrazu. Dává nám dobrou informaci o struktuře obrazu a na jeho základě lze oddělovat okolí od objektu, který nás zajímá. Z vlastností, které z histogramu vyplývají, se provádí prahování obrazu.

Další neocenitelnou vlastností je, že nám dává informaci o rozložení jasu v obraze. Na základě této informace se dá určit, jestli je obraz dostatečně osvětlený. Popřípadě se dá oblast objektu v histogramu roztáhnout a tím zvýšit jasové rozlišení objektu.



**Obrázek 2.10** Dům





**Obrázek 2.11** Histogram domu

Na snímcích je vidět dům s jeho okolím, které tvoří stromy. Pod snímkem domu je histogram snímku. Osa x histogramu začíná na hodnotě 0 a končí na hodnotě 255, což odpovídá maximální hodnotě jasu v obraze. Osa y udává množství jasových pixelů v obraze. Např. pixelů o hodnotě jasu 150 je v obraze 3029.

Pokud se podíváme podrobněji na tento snímek a jeho histogram, rozeznáme dvě části. Velká oblast, která začíná hodnotou 50 a končí hodnotou 120, a druhou oblast, která začíná na hodnotě 210 a končí na hodnotě 235. První oblast nám podává informaci o okolí snímku, které tvoří stromy v pozadí. Oproti tomu druhá oblast odpovídá bílému domu uprostřed snímku. Z tohoto histogramu si lze udělat představu např. kolik dům zabírá pixelů na snímku a jaká je jeho jasová intenzita. Pokud je naším zájmem dům, tak se můžeme přímo soustředit na jasové pixely v příslušné oblasti. Pro prahování snímku můžeme zvolit např. hodnotu 200 pro mez prahování. Všechny pixely, které mají hodnotu menší, prohlásíme za rovné 0 a ostatní za rovné 255 (popřípadě za  $\log.1 \log.0$ ).

### 2.9.2 Konvoluce obrazových dat

Pojem konvoluce je při zpracování obrazu jedním z nejdůležitějších. Pomocí konvoluce zpracováváme jasové i geometrické informace současně. Ale co to vlastně konvoluce je?

Konvoluce je matematická operace, která kombinuje dva signály tak, aby vznikl signál třetí. Pro jednorozměrnou konvoluci platí:

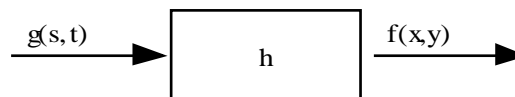
$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(s, t) \cdot h(x - s, y - t) ds dt \quad [2.6]$$

kde:

$g(s, t)$  - je vstupní signál

$f(x, y)$  - je výstupní signál

$h$  - je konvoluční maska



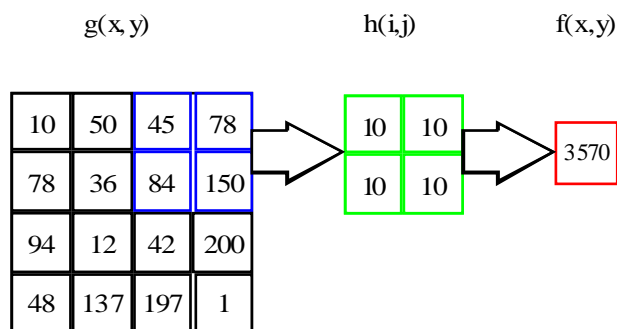
**Obrázek 2.12** Konvoluční schéma

Při zpracování obrazu je ale tato formulace konvoluční věty nevhodná, proto se používá její obdoba pro diskrétní signály

$$f(x, y) = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-l}^l g(x - i, y - j) \cdot h(i, j) \quad [2.7]$$

V principu si lze konvoluční masku představit jako tabulku s číslicemi  $h(i, j)$ . Tuto tabulku postupně přikládáme na obraz  $g(x, y)$  (což je vlastně taky určitá forma tabulky) a okénka, která se překrývají se mezi sebou vynásobí. Takto získaná čísla

sečteme a výslednou hodnotu vložíme do nové tabulky. Tímto způsobem projdeme celý obraz a nově získané hodnoty tvoří signál  $f(x,y)$ .



**Obrázek 2.13** Grafické vyjádření konvoluce

Rychlost výpočtu konvoluce je velmi závislá na velikosti masky  $h(i,j)$ . Pro malé masky je rychlost velmi rychlá, ale pro masky větších rozměru náročnost výpočtu rychle narůstá.

### 2.9.3 Šumové filtry

V každém obraze je šum přítomen alespoň v malém množství. Šum vzniká již při snímání obrazu CCD nebo CMOS snímačem. Může se jednat o šum vzniklý vlivem výrobní nedokonalosti snímače, ale také o šum, který generuje každý polovodičový snímač (tzv. vlastní šum polovodiče).

Ať už šum vzniká jakkoliv, je nutno jej z obrazu odstranit. K tomuto účelu se používají filtrační masky. Obecně rozeznáváme následující typy:

- *Průměrovací maska*
- *Gaussova maska*
- *Mediánový filtr*
- *Frekvenční filtr*

*Frekvenční filtr* při své činnosti využívá Fourierovu transformaci. Jelikož obraz je dvourozměrný signál, proto i Fourierova transformace musí být pro dvourozměrný signál. Fourierova transformace provádí převod z časové oblasti do oblasti frekvenční. Jelikož se jedná o diskretní obraz, používá se diskretní tvar Fourierovy transformace:

$$X(k, l) = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} x(n, m) \cdot e^{-j2\pi(\frac{kn}{N} + \frac{lm}{M})} \quad [2.8]$$

kde:

$x(n, m)$  je originální signál (obrazová funkce)

$X(k, l)$  je obraz originálního signálu

$M, N$  jsou rozměry obrazu

Při použití frekvenčního filtru šumu se využívá znalosti, že šum se chová jako vysoká frekvence (rychlost změny hodnoty pixelu). Proto, když vytvoříme filtr na vysoké frekvence a provedeme konvoluci (popřípadě součin obrazu originálu a obrazu filtru) dostaneme obraz bez šumu.

Nevýhodou tohoto filtru je to, že i hrany mají vysokofrekvenční charakter. Při použití tohoto filtru proto následně dochází k porušení hran. Dalším problémem frekvenčního filtru je jeho výpočetní náročnost. Je proto nutné použít některé rychlé algoritmy výpočtu Fourierovy transformace (Motýlek, ...).

Při použití *průměrovací masky* se vychází z předpokladu, že okolní pixely mají stejnou hodnotu jako pixel sám. Pokud se jedná o šum, je jeho hodnota výrazně rozdílná. Když provedeme průměrování pixelu s okolními pixely, dostaneme střední hodnotu pro oblast  $h(i, j)$ . Pokud oblast obsahovala šum, bude tento šumový pixel zahrnut do střední hodnoty, která podle rozměru masky zvýší svoji hodnotu, ne však natolik, aby změna střední hodnoty byla výrazná.

Nevýhoda této metody spočívá v tom, že pokud se dostaneme do okolí hrany, je střední hodnota oblasti  $h(i, j)$  narušena. Ve výsledku je pak hrana rozmazána, což může způsobit její následnou špatnou detekci.

Jako lepší alternativu průměrovací masky je vhodné použít *Gaussovu masku*. U použití Gaussovy masky se vychází ze znalosti Gaussovy křivky, která nám říká, že hodnoty dat jsou rozmístěny v okolí průměrné hodnoty s určitým rozptylem. Proto maska nemá stejnou hodnotu ve všech svých prvcích, ale hodnoty pro konvoluce se berou s určitým váhovým koeficientem. Tato maska dobře odstraňuje náhodný šum a je relativně tolerantní ke hranám.

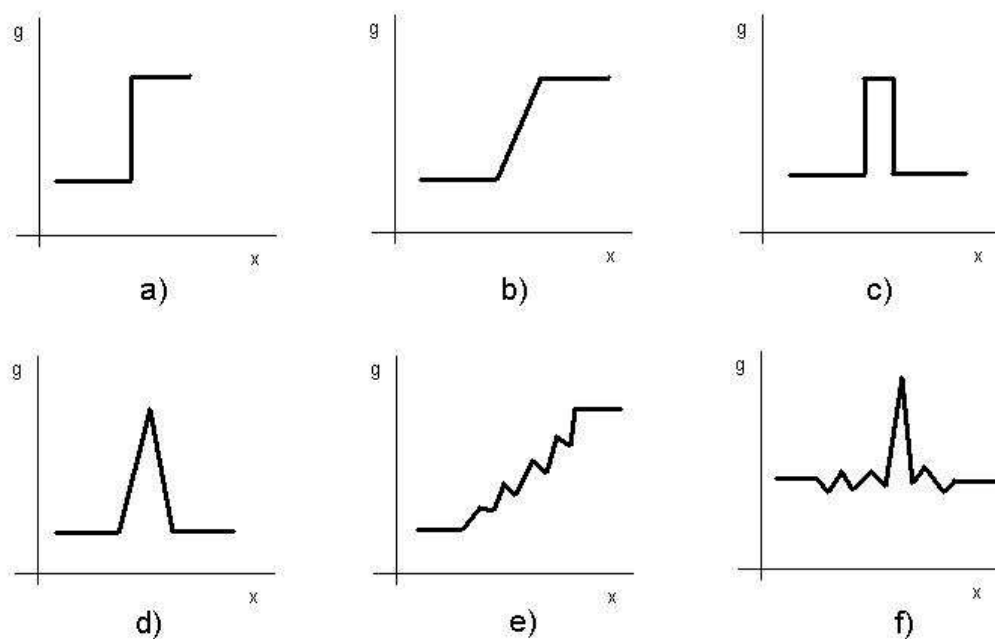
*Mediánový filtr* oproti předchozím filtrům používá jiný přístup. Využívá znalosti o mediánu v okolí pixelu. Tyto body okolí seřadí do řady od nejmenší po největší hodnotu. Předpokládá, že náhodný šum bude mít hodnotu, která je na okraji pomyslné řady. Poté vybere prostřední hodnotu a tu prohlásí za výstupní hodnotu z filtru. Tento filtr je velice dobrý na šum typu „pepř a sůl“ ale dává horší výsledky pokud obraz obsahuje hodnoty pixelů podobných hodnot. Navíc je výpočetně náročnější než při použití některého předchozího filtru (nutnost provést seřazení prvků pro určení mediánu).

#### 2.9.4 Hranové detektory

Hrany jsou důležitým prvkem při rozpoznávání objektů. Je dokázáno, že člověk analyzuje objekty, které vidí na základě hran objektu. Ale co to vlastně hrana je a jak ji detekovat v obraze?

Hrana je část obrazu, kde dochází ke skokové změně jasu obrazu. Hrany vznikají díky nespojitostem v normále povrchu, hloubce, odrazivosti povrchu, odleskům nebo nespojitostem v osvětlení (stínům). Hrana tedy popisuje rychlost změny a směr největšího růstu obrazové funkce  $f(x,y)$ . Hranový bod je tedy bod s velkým modulem gradientu obrazové funkce  $f(x,y)$ .

Na Obrázek 2.14 jsou ukázány nejčastější základní profily hran. Možnosti a) – d) jsou zidealizované. Poslední dvě možnosti jsou reálné. Množství skoků na profilu je způsobeno šumem.



**Obrázek 2.14** Možné profily hran

Pro detekci hran lze použít několik metod. V principu rozeznáváme dva základní přístupy:

- *Konvoluční masky*
- *Frekvenční detektory*

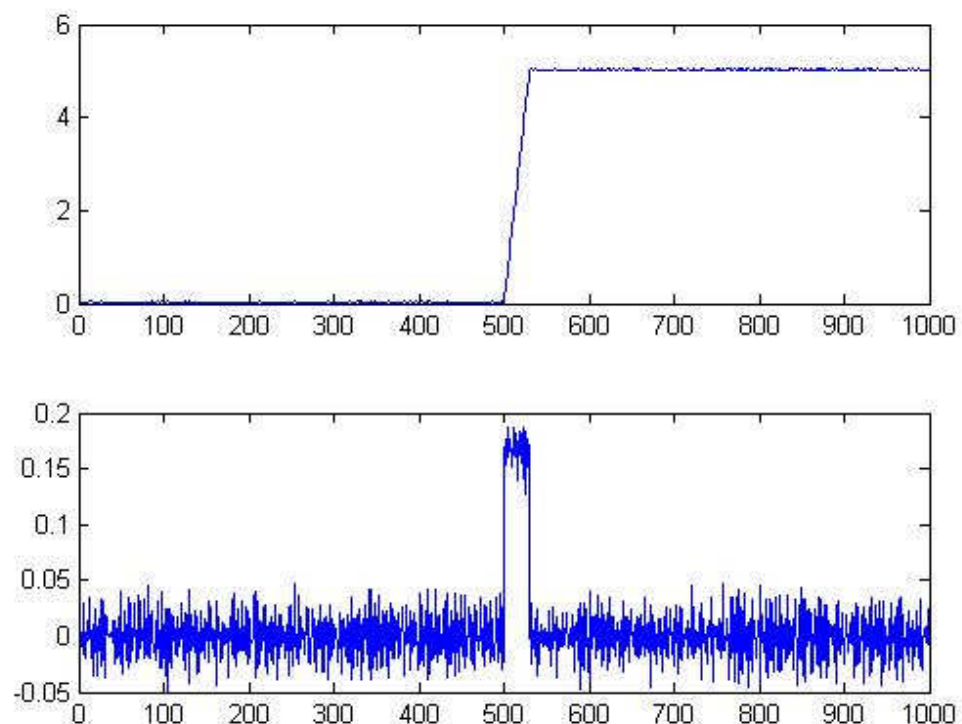
*Frekvenční detektory* využívají stejného principu jako frekvenční filtry, jen s tím rozdílem, že nyní se snažíme prvky s určitou frekvencí detekovat a ostatní pixely potlačit. Dá se tedy říci, že frekvenční hranový detektor je hornofrekvenční propust.

Konvoluční masky oproti tomu používají znalosti o geometrickém rozložení pixelů v obraze. Dají se dále dělit podle:

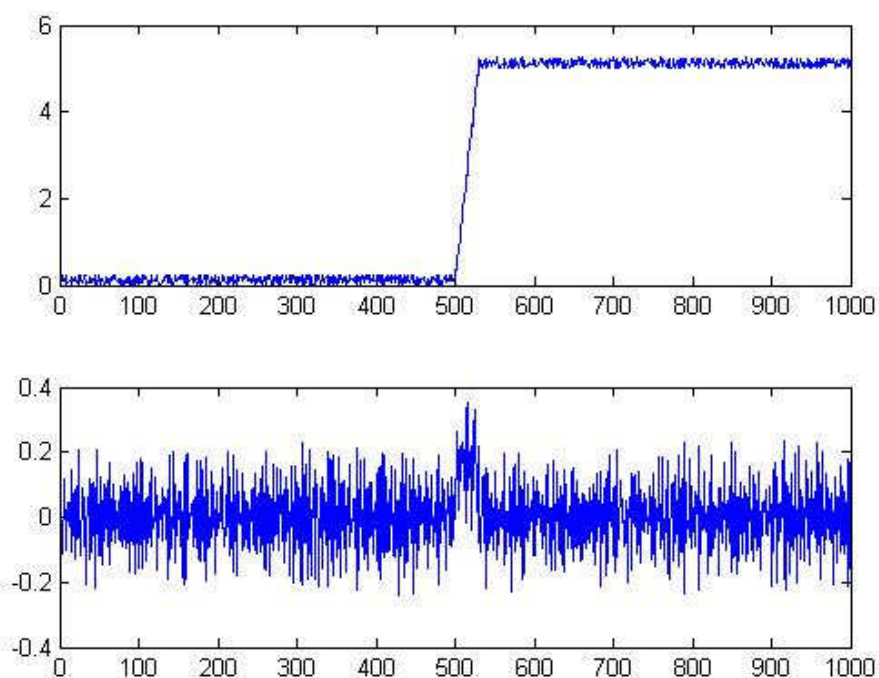
- *Hledání maxim prvních derivací*
- *Hledání průchodu druhých derivací nulou*
- *Lokální aproximaci obrazové funkce parametrickým modelem*

Detekování hran při použití *hledání maxim prvních derivací* je principiálně nejjednodušší metoda. Na Obrázek 2.14 jsou ukázány některé základní příklady profilů hran. Pokud vezmeme možnost a) a derivujeme ji, získáme křivku podobou Dirackově impulsu. Možnost b) se liší od možnosti a) tím, že velikost impulsu nebude tak velká. U možnosti c) získáme dva pulsy, které budou mít opačné znaménko. Posun mezi pulsy se bude rovnat šířce hrany.

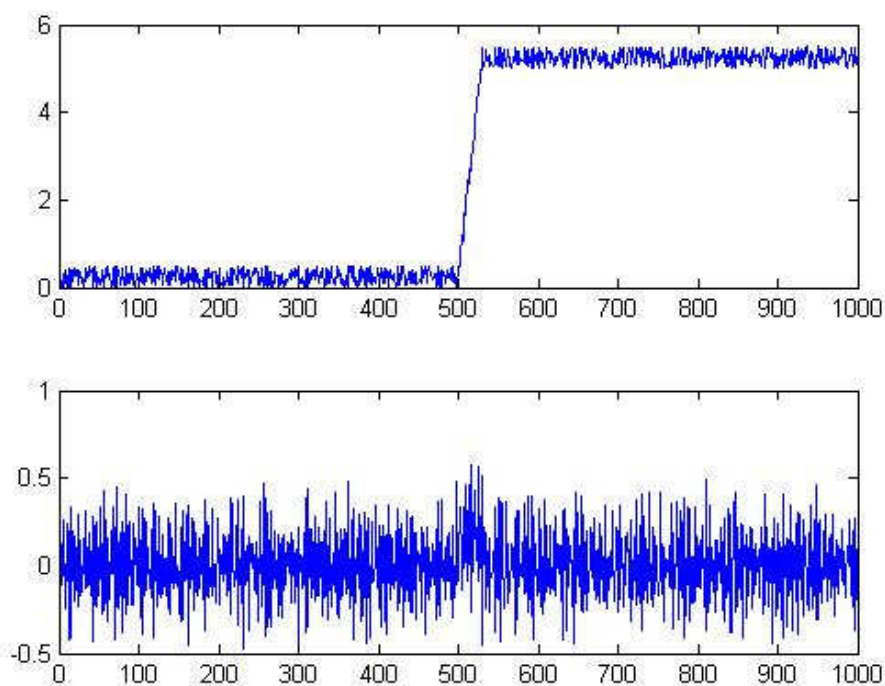
Problémy ovšem začnou v okamžiku přítomnosti šumu. Podívejme se na následující příklady. Pokud obraz bude zašuměný 1%, 5% a 10% šumem bude profil hrany a 1. derivace vypadat jak je uvedeno na Obrázek 2.15, Obrázek 2.16 a Obrázek 2.17.



**Obrázek 2.15** Profil hrany s 1% šumem a její 1. derivace



**Obrázek 2.16** Hrana s 5% šumem a její 1. derivace

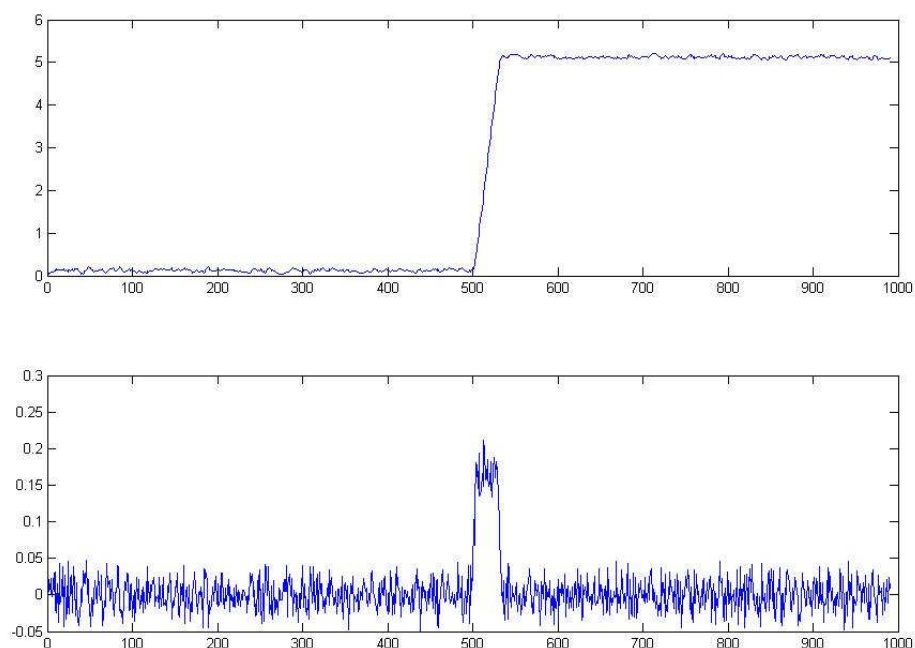


**Obrázek 2.17** Hrana s 10% šumem a její 1. derivace



Jak je z příkladu patrné, již u 5% procentního šumu je 1. derivace špatně rozpoznatelná. Kdyby navíc směrnice hrany byla o něco menší, byla by už i při přítomnosti 1% šumu nerozpoznatelná.

Jako jedno z řešení se nabízí použití vyhlazující masky na odstranění šumu. Při použití průměrovací masky o 5 místech (plovoucí průměr o velikosti 5) na zašuměný signál šumem o velikosti 10% dostaneme následující výsledky.



**Obrázek 2.18** Použití průměrovacího filtru

Jak je patrné z výsledků, je první derivace mnohem lépe rozpoznatelná než v předchozích případech. Pokud bychom použili filtr o více prvcích, byla by první derivace mnohem méně zašuměná, ale současně derivace hrany by byla mnohem méně rozpoznatelná.

Abychom nemuseli provádět derivaci obrazové funkce, lze použít speciální tvary hranovacích operátorů. Mezi nejznámější patří Robertsův, Prewittův a Kirschův operátor.

### Robertsův operátor

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad [2.9]$$

Mezi jeho nevýhody patří velká citlivost na šum. Je to dáno tím, že použité okolí je velikosti  $2 \times 2$ .

### Prewittův operátor

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad h_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [2.10]$$

Tento operátor je citlivý na hrany, které jsou ve směru masky. Tzn., že  $h_1$  detekuje vodorovné hrany,  $h_3$  svislé hrany a  $h_2$  šikmé hrany pod úhlem okolo  $135^\circ$ .

### Kirschův operátor

$$h_1 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & -5 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & 3 \end{bmatrix}, \quad h_3 = \begin{bmatrix} -5 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & 3 & 3 \end{bmatrix} \quad [2.11]$$

*Kirschův* operátor je co se týká použití podobný jako *Prewittův* operátor, ale díky jinému charakteru své masky dává lehce rozdílné výsledky.

Je dobré si všimnout, že při sečtení všech prvků v matici je vždy výsledek roven 0. Je to z toho důvodu, aby nedocházelo ke změně střední hodnoty daného okolí.

Při použití druhé metody detekce hran, *průchodu nulou*, se využívá druhá derivace obrazové funkce. U využití druhé derivace se hledá hodnota derivované funkce, která prochází nulou. Proto se této metodě také říká ZeroCrossing.

U této metody se používá Laplacián obrazové funkce.

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad [2.12]$$

$\nabla^2 f(x, y)$  je skalár. Oproti použití gradientu ztrácíme informaci o směru hrany.

Jednou z hlavních výhod Laplaciánu je, že dokáže zvýrazňovat hrany. Proto se dá využít při ostření obrazu (zvýraznění hran). Bohužel tento detektor je velice citlivý na šum. A to mnohem více než při použití první derivace. Proto se používá převážně v kombinaci s Gaussovým filtrem šumu LoG (Laplacian of Gaussian).

Pro určení takového filtru se stanoví druhá derivace 2D Gaussovy křivky. Tím získáme masku LoG. S touto maskou provedeme následnou konvoluci s obrazem  $f(x, y)$ .

$$\nabla^2 (G * f) = (\nabla^2 G) * f = LoG(f) \quad [2.13]$$

kde:

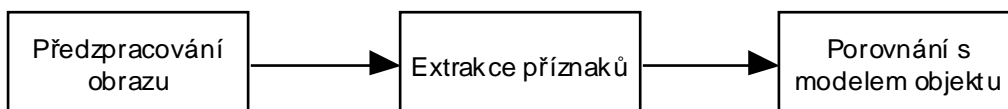
$G$  – Gaussova maska

$f$  – obrazová funkce

$LoG(f)$  – výsledný obraz

## 2.10 DETEKCE OBJEKTU V OBRAZE

V okamžiku, kdy máme již v obraze nalezeny hrany, začíná další část a to klasifikace hran. Je totiž třeba velké množství hran v obraze vytřídit. Dále je nutné, aby hranice objektů byly rozpoznatelné od šumu. Obecně je používán postup, který je na následujícím obrázku:



**Obrázek 2.19** Zpracování obrazu

Volba příznaků by měla být jednoznačná. Příznak by měl co nejvíce charakterizovat objekt, aby nedošlo k záměně jednoho objektu za druhý.

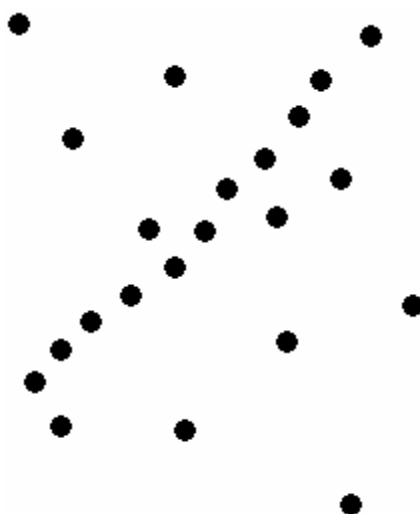
Metod, jak identifikovat objekty v obraze, je velké množství. Zaměřím se tu především na jednu a to metodu RANSAC.

### RANSAC

Metoda RANSAC (RANdom SAMple Consensus – shoda náhodných vzorků) patří mezi metody detekce objektu v obraze. Využívá se zde informace o vzájemné poloze křivek.

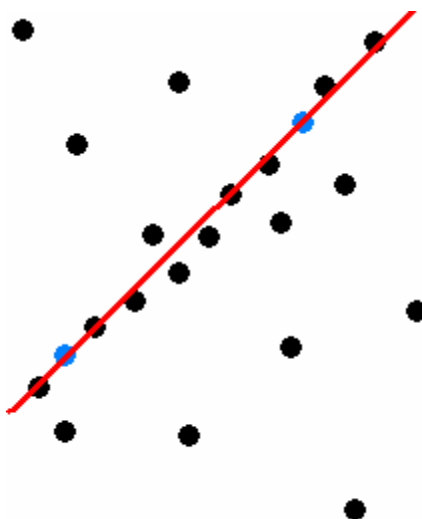
Z množiny prvků v obraze RANSAC náhodně vybírá jednotlivé prvky a ty následně testuje. Pokud míra shody je v určité toleranci k hledanému vzoru, je nalezený prvek prohlášen za část hledaného objektu.

Náhodné vybírání vzorků má své výhody i nevýhody. Při velkém počtu bodů se nemusí testovat všechny kombinace a možnosti výskytu hrany. Současně bohužel nemusí algoritmus za určitý počet kroků nalézt řešení. Další výhodou této metody je, že data nemusí být kompletní. Stačí, aby si stále udržela svůj charakter. Když bude třeba 1/3 kruhu chybět, je metoda RANSAC stále schopna tento kruh detekovat. Je to dáno tzn. ohodnocením nelezaných dat.



**Obrázek 2.20** Body vyhranovaného snímku

Na Obrázek 2.20 je ukázáno několik bodů. Je zde patrná lehce zvlněná přímka. Metoda RANSAC bude náhodně vybírat dva body, pomocí nichž sestaví přímku. Poté spočítá body na i v okolí přímky. Tyto body jsou brány jako hodnotící kritérium (Obrázek 2.21).



**Obrázek 2.21** Vybrány dva body a sestavena přímka

Body, které se budou započítávat do hodnotícího kritéria určíme podle okolí. Okolí může být velké nebo může být malé. Záleží na charakteru snímku. Pokud je ve snímku mnoho bodů, je spíše vhodnější, aby okolí bylo malé. V opačném případě naopak.

### 3. VLASTNÍ VYPRACOVÁNÍ

#### 3.1 NÁVRH OSVĚTLENÍ

##### 3.1.1 Barva světla

Ke správnému přečtení znaků na mikrotečce je nutné vlastní osvětlení. Přirozený zdroj světla poskytuje jen velmi nízké úrovně osvětlení, které je pro správné přečtení absolutně nevyhovující. Navíc díky vlastnímu zdroji světla odbouráme parazitní vlivy jako odrazivost povrchu a stíny.

Návrh zdroje světla je závislý jak na odrazivosti povrchu tečky, tak na snímacím zařízení. Jako snímač obrazu byla použita kamera Arecont AV3130. Tato kamera má nastavitelné rozlišení s maximální úrovní 2048 x 1536 pixelů. Jedná se o CMOS technologii s chipem o velikosti  $\frac{1}{2}$ ". Rychlost snímání při maximálním rozlišení je 20 fps. Připojení k PC je přes ETHERNET. U této technologie kamer je nutný pro osvětlení určitý světelný výkon, aby bylo dosaženo dostatečného odstupu signál-šum. Nutná intenzita světla závisí pak na typu kamery.

Při návrhu osvětlení bylo použito přímo světlo emitované z LED diod a to hned z několika důvodů. Jeho první výhodou oproti zářivce nebo klasické odporové žárovce je to, že neblíká. Blikání může být dosti zkreslující, pokud bude snímek pořízen v okamžiku světelného minima. Navíc LED diody nemají takový ztrátový výkon jako odporová žárovka. Zdroj tepla poblíž objektivu kamery by mohl svou vysokou teplotou poškodit snímací zařízení. Další výhodou LEDek je jejich cena a poměrně úzká vlnová délka. Díky tomu bylo možné stanovit nejvhodnější šířku pásma (barvu) osvětlení. Také to, že LED diody jsou poměrně malé, byly vhodné pro manipulaci se světlem. Byl testován i červený LED laser, ale ten měl příliš velký výkon a výsledek byl nepoužitelný. Navíc vlivem koherentního záření vznikal v obraze červeno-bílý šum.

Barva osvětlení byla vybrána z barev: zelená, červená, bílá, modrá, oranžová, růžová a fialová. Bylo zkoušeno i infračervené světlo. Výsledky byly hodně

ovlivněny povrchem, na kterém byla mikrotečka nalepena. Proto byl zvolen jako srovnávací povrch bílé barvy.

Při použití modrého světla byl snímek ostrý, ale bohužel měl příliš malý kontrast mezi textem a samotným povrchem tečky. Pro zlepšení kvality snímku bylo nutné, aby se dlouze hledal optimální bod dopadu světla.

Fialové světlo dávalo mnohem lepší výsledky. Odstup kontrastu jednotlivých detailů se mnohem zlepšil. Dokonce byl text dobře okem rozpoznatelný i při současném zvýraznění kódu a hologramu.

Při použití oranžového světla byly výsledky podobné jako u fialového. Jediný rozdíl byl v tom, že oranžové světlo dávalo mnohem jasnější (světlejší) snímky.

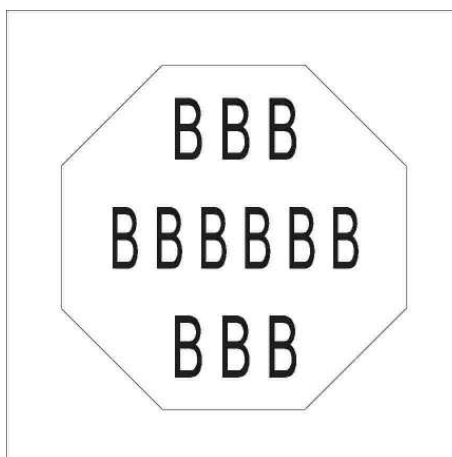
<i>Barva</i>	<i>Kvalita osvětlení</i>
Bílá	Obraz čistý, bez zkreslení
Modrá	Málo vynikly detaily
Fialová	Velké zvýraznění hologramů
Zelená	Malý kontrast tečka-znaky
Oranžová	Velké zvýraznění hologramů
Červená	Malý kontrast, špatně čitelné detaily
Růžová	Malý kontrast

**Tab. 3.1** Srovnání testovaných osvětlení

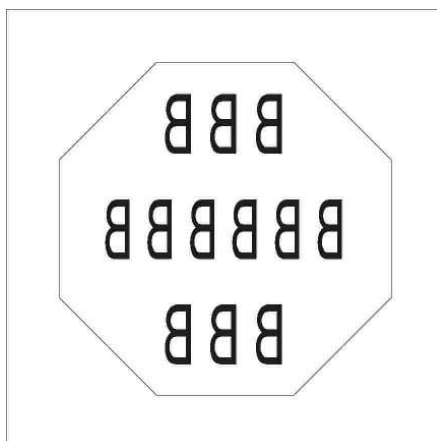
### 3.1.2 Úhel osvětlení

Pro dobrou čitelnost mikrotečky je nejen důležité mít správný typ osvětlení (barvu), ale i úhel, pod kterým světlo dopadá na objekt. Další důležitou vlastností je i intenzita světla. Je pochopitelné, že pokud bude světlo slabé, tak bude snímek tmavý, ne-li dokonce zašuměný.

Dále je vhodné si zvolit, co vše má být na tečce vidět. Jak bylo popisováno výše, tak na mikrotečce je několik prvků, které nám dávají vedlejší informace. Je to již zmíněný hologram a hologramové tečky. Pro další popis mikrotečky definuji její orientaci. Strana tečky, která je otočená správně tzn. text je čitelný a nepřevrácený označím jako strana A. Naproti tomu, obrácená tečka tzn. text je zrcadlově převrácený označím jako strana B



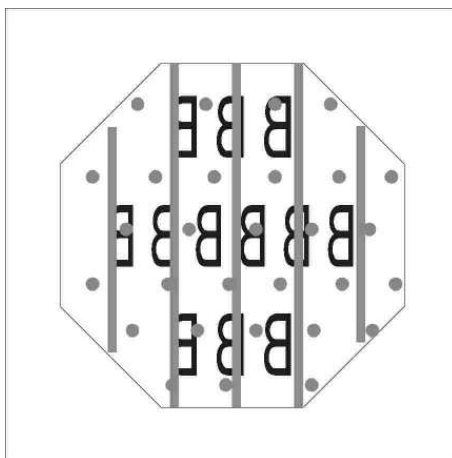
**Obrázek 3.1 Strana A**



**Obrázek 3.2 Strana B**

Navíc, aby strana B byla ještě důsledněji odlišena od strany A, je na straně B hologram s názvem výrobce tečky a šest řádků s holografickými tečkami. Význam holografických teček mi není prozatím přesně znám, ale dá se předpokládat, že slouží k určení orientace tečky.



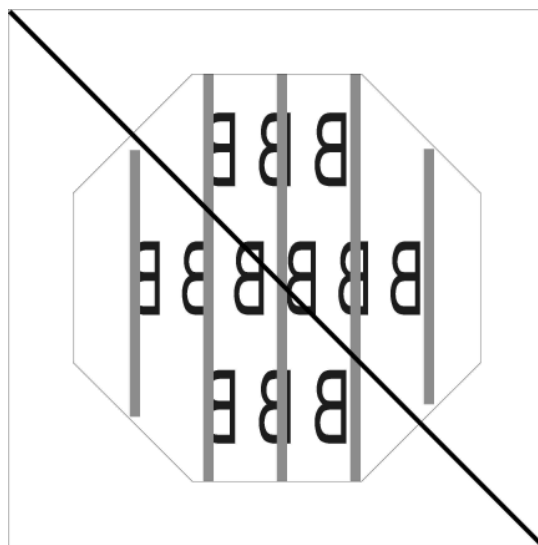


**Obrázek 3.3** Strana B s hologramem

Na schematickém Obrázek 3.3 odpovídají silné pruhy hologramům s názvem výrobce. Tečky jsou umístěny v šesti řadách.

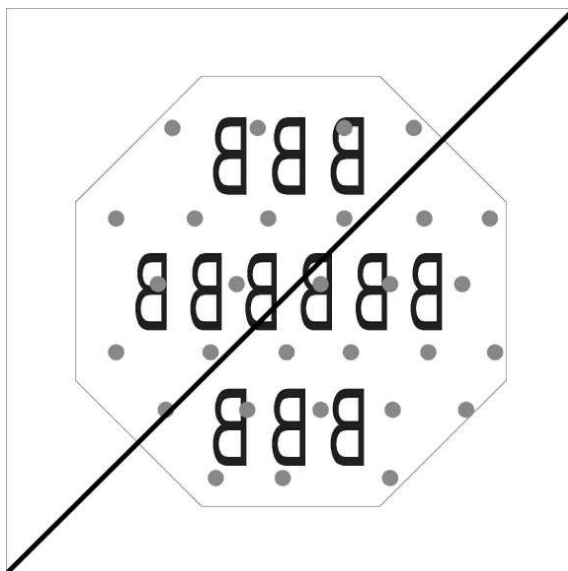
Další pojem, který je nutné si zavést kvůli orientaci je  $0^\circ$ . Pro jednoduchost je zvoleno  $0^\circ$  na horní straně a úhel poroste po směru hodinových ručiček tj. v matematicky záporném směru.

Jak bylo zmíněno výše, je důležitý úhel, pod kterým dopadá světlo na tečku. U stany A to není příliš podstatné, ale u strany B to má velký význam. Na tomto úhlu totiž závisí jestli se zobrazí hologram nebo ne. Navíc jsou zde dva druhy hologramů (holografické tečky a hologram s názvem výrobce) a každý je citlivý na jiný úhel světla.



**Obrázek 3.4** Úhel dopadu světla pro hologram

Jak je vidět na schématu Obrázek 3.4, kde silná černá čára definuje úhel, pod kterým musí světlo dopadat na mikrotečku, aby se objevil hologram. Jedná se o úhly  $135^\circ$  a  $315^\circ$ . Oba dva úhly nám dávají identické výsledky.



**Obrázek 3.5** Úhel dopadu světla pro tečky

Na obrázku je schematicky zachycen úhel pro dopad světla, pod kterým se nám objeví holografické tečky. Jedná se tedy o úhly  $45^\circ$  a  $225^\circ$ .

### 3.1.3 Zhodnocení osvětlení

V předchozím popisu bylo zmíněno, že hodně záleží na druhu povrchu, na kterém je mikrotečka umístěna. Z tohoto důvodu se jeví jako nejvhodnější typ bílé osvětlení. Je to hned z několika důvodů. Bílé světlo obsahuje světla všech vlnových délek, proto se dá říci, že použitím bílého světla používáme všechny druhy světél (celé vlnové spektrum viditelného světla). Dále bílé světlo má nejuniverzálnější použití na různé typy povrchů. Je sice pravda, že na neutrálním bílém povrchu dávalo nejlepší výsledky světlo oranžové a fialové, ale výsledek se změnil, když byl použit tmavý povrch.

Dalším důležitým prvkem je úhel osvětlení. V předchozí rozboru bylo uvedeno jaké úhly jsou na co vhodné. Jelikož při samotném měření v praxi nebude možné hledat správný úhel osvětlení, je řešením osvětlení kruhové, které bude osvětlovat mikrotečku ambientním rozptylem (světlem).

Takovéto již hotové druhy osvětlení vyrábí řada firem. Např. v katalogu firmy Edmund optics jsem našel několik druhů. Nevýhodou těchto již hotových přístrojů je jejich cena, která se pohybuje od 200 – 500 €. Proto bude zřejmě nejlepší si takovéto zařízení vyrobit.

Pro dostatečná osvětlení je vhodné použít 3-6 LED diod. Je to z důvodu přiměřeného odběru proudu. Tyto LED diody budou umístěny na jednoduchém plošném spoji, který bude uchycen okolo snímací optiky. Nastavení směru osvětlení se bude provádět pomocí obyčejného ohnutí LEDek. Takovéto jednoduché nastavení bude vhodné pro vyvíjený prototyp.

## 3.2 VÝBĚR OPTIKY

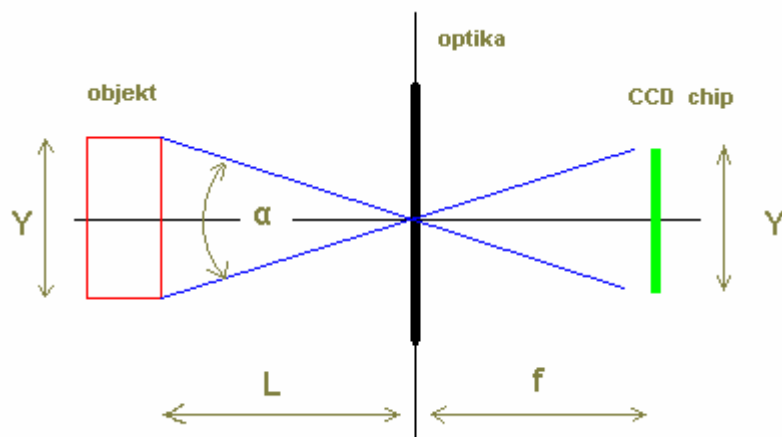
### 3.2.1 Všeobecné požadavky na optiku

Při zpracování obrazu platí jednoduché pravidlo: „Co se ztratí při snímání, to už nikdy nezískáme zpět.“ Proto je zřejmé, že optika je jednou z nejdůležitějších částí celého snímacího řetězce. Pokud máme opravdu vysoké požadavky na optiku i cena tomu bývá úměrná.

Mohlo by se zdát, že nejdůležitější parametr optiky je její zvětšení. Není to úplně pravda. Důležitým prvkem může být i velikost zkreslení, hloubka ostrosti, clona, ohnisková vzdálenost, ....

#### Snímaná plocha FOV ( Field of view )

Snímaná plocha je velikost plochy, kterou bude optika zabírat. Jedná se o jeden z parametrů návrhu. To znamená, že když se volí optika, musíme vědět, jak velkou plochu chceme snímat.



**Obrázek 3.6** Snímaná plocha

Tato plocha, pokud není udaná v parametrech optiky, se vypočítá podle vzorce:

$$Y = Y' \frac{L}{f} \quad [3.1]$$

kde  $Y$  – snímaná plocha [mm]

$Y'$  - velikost CCD chipu, na který je objekt promítán [mm]

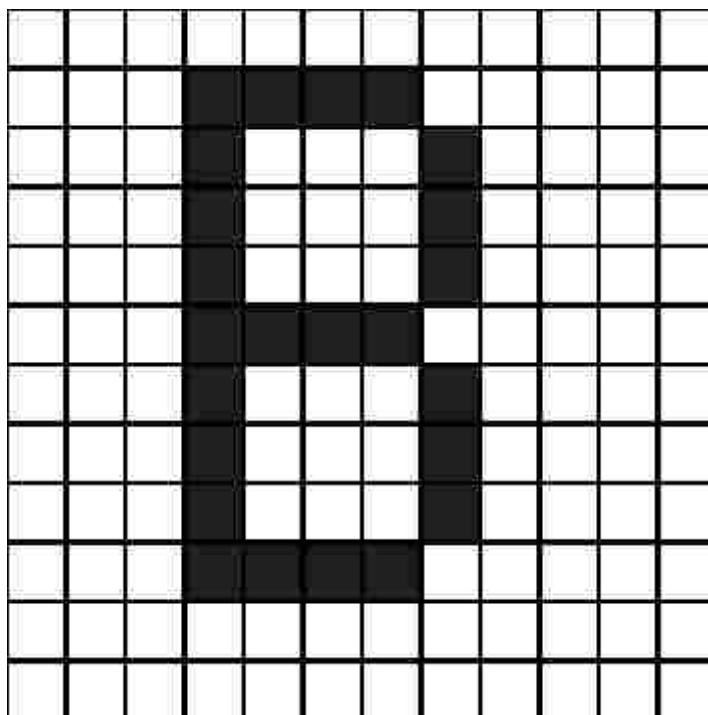
$L$  – vzdálenost optiky od objektu [mm]

$f$  – ohnisková vzdálenost [mm]

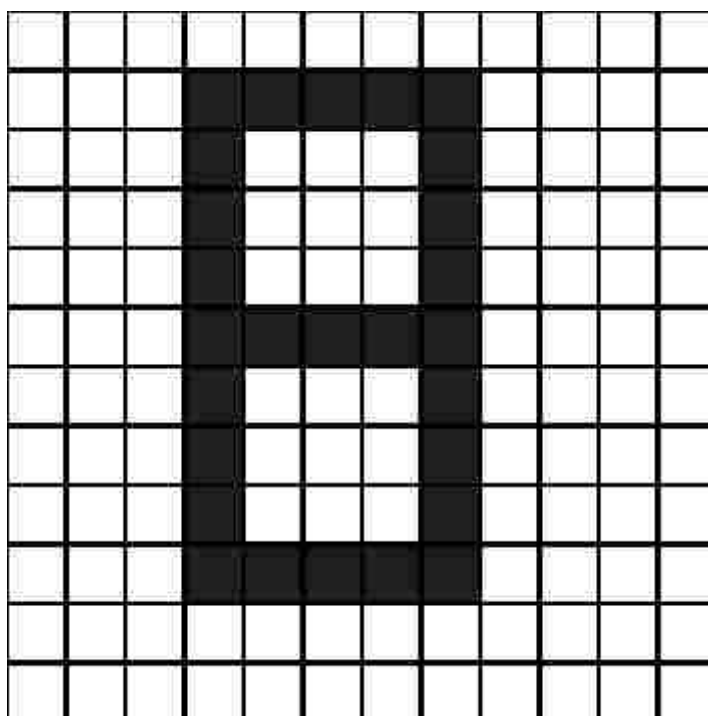
Volba tohoto parametru není však jednoduchá. Např. v případě výběru optiky pro mikrotečku by se mohlo zdát, že když se zvolí plocha relativně velká, nebude nutné obtížně hledat mikrotečku po celé ploše výrobku. Opak je pravdou. Když zvolíme velkou plochu je nutné si uvědomit, že CCD nebo CMOS chip má určité rozlišení a tím, že zvolíme relativně velkou plochu, ztratíme spoustu detailů. Když zase zvolíme plochu malou, tak bude obtížné mikrotečku do záběru dostat.

S tímto problémem úzce souvisí další. Při následném zpracování obrazu je vhodné, aby každý jednotlivý znak byl tvořen dostatečným počtem pixelů. Na tomto kritériu záleží rozpoznání znaku. Když bude znak tvořen malým počtem pixelů, tak by mohlo dojít k záměně znaku za jiný v důsledku malého rozlišení. Problém bude ilustrován na příkladu..

Na Obrázek 3.7 a Obrázek 3.8 jsou znaky „B“ a „8“. Při špatném rozlišení může dojít k jednoduché záměně obou prvků, protože se liší jen nepatrně a i oko člověka může velice snadno oba znaky zaměnit. Jak je vidět, znaky se liší o tři pixely.



**Obrázek 3.7** znak „B“ s minimem pixelů



**Obrázek 3.8** Znak „8“ s minimem pixelů

Samozřejmě, že se jedná o extrémní případ, ale tímto byla demonstrována důležitost rozlišení obrazu a velikosti snímané plochy (Field of view).

Ještě pro úplnost je nutné uvést, že výrobci optik často uvádějí úhel pohledu – Angle of view. Jedná se o parametr, který udává úhel záběru (zorné pole).

### Clona F (Brighthness of a Lens)

Dalším důležitým parametrem je clona. Clona udává množství světla, které projde na snímací zařízení. Pracuje na stejném principu jako lidské oko. Parametr F se nazývá clonové číslo. Jeho velikost říká, jak moc je clona zavřena. Pro výpočet F platí:

$$F = \frac{f}{d} \quad [3.2]$$

kde  $f$  – ohnisková vzdálenost [mm]

$d$  – efektivní průměr optiky [mm]

$F$  – clonové číslo [-]

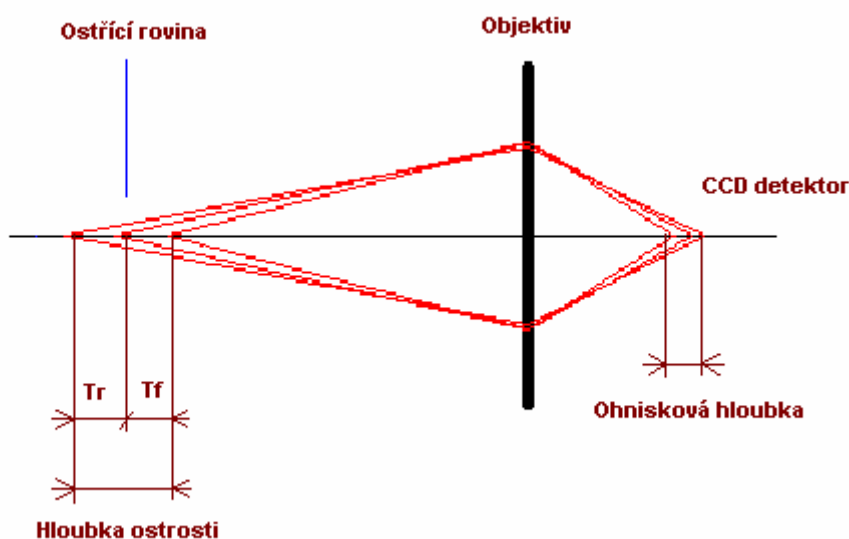
Parametr  $f$  je konstanta a tudíž jediné, čím clonové číslo můžeme ovlivnit, je efektivní průměr optiky. Ze vzorce je patrné, že když budeme zmenšovat průměr objektivu (vysouvat clonu a tím zmenšovat množství vstupujícího světla), tak se bude clonové číslo zvětšovat.

Clona nezamezuje jen přesvětlení snímku, ale poskytuje uživateli i další možnosti. Když například objektiv maximálně zacloníme a snímáný objekt více osvětlíme, tak na výsledném snímku dostaneme větší množství detailů. Navíc získáme větší hloubku ostrosti.

### Hloubka ostrosti (Depth of field)

Pojem hloubky ostrosti úzce souvisí se clonou a osvětlením. Jak bylo popsáno o pár řádků výše, tak větší hloubku ostrosti získáme vyšším zacloněním. Ale k čemu je vlastně hloubka ostrosti dobrá?

Když se snažíme pořídit kvalitní snímek je samozřejmě nutné, aby byl správně zaostřen. Proto před každým pořízením snímku se snažíme obraz co nejlépe zaostřit. Metoda ostření je vlastně nastavení ostřicí roviny v určité vzdálenosti od objektivu. V této rovině jsou všechny detaily ostré, ale před i za rovinou mohou být rozmazané. Proto se zavádí pojem hloubky ostrosti, který uvádí rozměr, na kterém jsou objekty stále ještě zaostřeny. V podstatě z ostřicí roviny uděláme trojrozměrný objekt (kvádr), na který se objektiv zaostřuje. Tak jak to ukazuje Obrázek 3.9.



Obrázek 3.9 Schéma hloubky ostrosti

Hloubka ostrosti se dá vypočítat podle následujících vztahů.

$$T_r = \frac{\delta \cdot F \cdot L^2}{f^2 - \delta \cdot F \cdot L} \quad [3.3]$$



$$T_f = \frac{\delta \cdot F \cdot L^2}{f^2 + \delta \cdot F \cdot L} \quad [3.4]$$

$$DoF = T_r + T_f \quad [3.5]$$

$\delta$  – dovolená oblast zaostření [mm]

$f$  – ohnisková vzdálenost [mm]

$F$  – clonové číslo [-]

$L$  – vzdálenost objektu [mm]

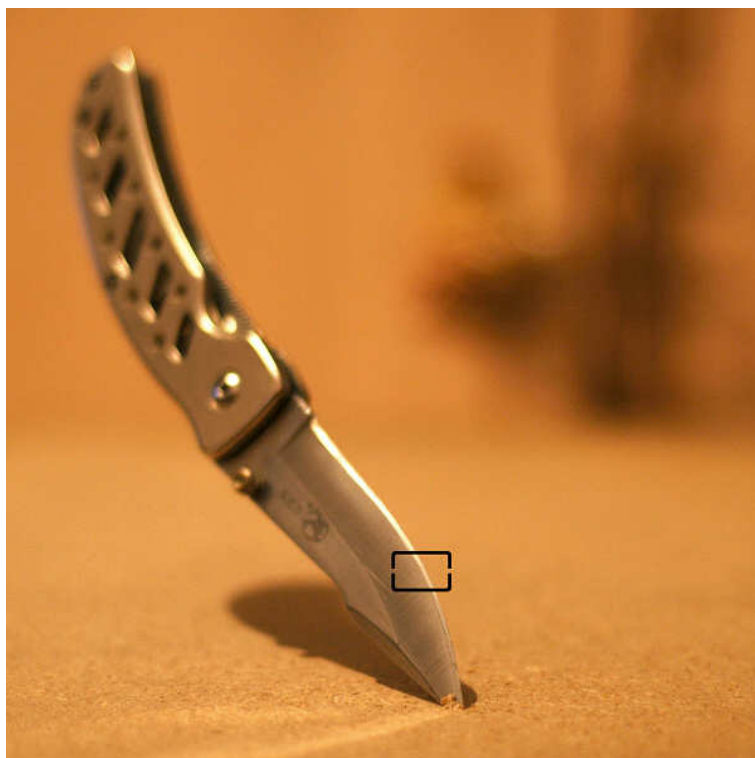
$DoF$  – hloubka ostrosti [mm]

Konstanta  $\delta$  je úzce spojena s rozměrem chipu. Její velikost udává následující tabulka.

Velikost chipu	Dovolená oblast zaostření [mm]
1“	0,04
2/3“	0,028
1/2“	0,02
1/3“	0,015
1/4 „	0,011

**Tab. 3.2** Parametr  $\delta$  [10]

Při výběru objektivu pro snímání mikroteček je velká hodnota hloubky ostrosti velice důležitá. Díky tomu, že objektiv disponuje velkou hloubkou ostrosti, tak se ztrácí požadavek na přesné přeostrění každého snímku. Lépe to bude vidět na následujících snímcích.



**Obrázek 3.10** Hloubka ostrosti s clonovým číslem  $F = 1,8$  [11]



**Obrázek 3.11** Hloubka ostrostí s clonovým číslem  $F = 9$  [11]



**Obrázek 3.12** Hloubka ostrosti s clonovým číslem  $F = 22$  [11]

Na předchozích snímcích (Obrázek 3.10, Obrázek 3.11 a Obrázek 3.12) je vidět různá hloubka ostrosti získaná použitím clony. Snímek na Obrázek 3.10 byl pořízen se clonou 1,8, snímek na Obrázek 3.11 s clonovým číslem 9 a snímek na Obrázek 3.12 se clonovým číslem 22. Každý z těchto snímků je zaostřován na černý rámeček. Jak je patrné, tak se vzrůstající hodnotou clonového čísla se celý objekt postupně zaostřuje. U posledního snímku je dobré si povšimnout i detailů v pozadí.

Objektivy s vysokou hloubkou ostrosti jsou finančně nákladné. Není výjimkou, že se jejich ceny pohybují v řádech 10-100 tisíců Kč.

### 3.3 ZVOLENÁ OPTIKA

Z velkého množství různých objektivů od různých společností byly nalezeny některé vhodné optiky. Bohužel jejich cena se pohybovala v řádech desetitisíců Kč, což pro možnosti školy bylo příliš mnoho. Avšak jedna optika společnosti Edmund

optics vykazovala vhodné parametry. Bohužel její dokumentace nebyla v materiálech společnosti dostatečná. Při konkrétních dotazech na její parametry byla bohužel značná neochota, proto bylo rozhodnuto o náhradním řešení.



**Obrázek 3.13** Použitá optika

V laboratoři počítačového vidění byla používána optika, která byla určena původně k jinému účelu. Avšak její parametry byly natolik vhodné (dobrá hloubka ostrosti), že se dala použít i pro tento projekt. Bohužel tato optika je prototyp a není možné její sériové použití. Navíc tato optika byla určena pro jiný rozměr snímacího chipu (viz. dále), proto na použitém chipu nevykreslovala celý obraz. Tato optika byla určena pro rozměr chipu  $\frac{1}{2}$  palce a používaný chip modulu Micron je  $\frac{1}{3,2}$  palce. Proto je obraz přibližně o polovinu zmenšený.

### 3.4 BEZDRÁTOVÝ PŘENOS DAT

Pro bezdrátový přenos dat je nejvhodnější použít již některou z osvědčených technologií. Pro přenos na krátké vzdálenosti se jeví jako vhodné dvě technologie a to Wi-fi a Bluetooth.

Technologie *Bluetooth* pracuje na kmitočtu 2,4 GHz. Jeho dosah je 10 -100m. Pokud jsou mezi vysílačem a přijímačem zdi, dosah rychle klesá. Jeho přenosová rychlost je přibližně 720 kbit/s. Bluetooth spadá do kategorie multi-master. To znamená, že jedno zařízení (master) může mít až 7 přijímačů (slave). Každý z těchto přijímačů může být dále master pro další sub-sít'.

Oproti tomu technologie *Wi-fi* je síť typu peer-to-peer. Jedná se o bezdrátový přenos dat na relativně velké vzdálenosti (i 100 metrů). Pracuje nejčastěji na kmitočtu 2,4 GHz, ale již se zavádějí různé modifikace na kmitočtech 5 GHz. Podle typu standardu se odvíjí i rychlost přenosu dat. Např. pro standard IEEE 802,11 g je přenosová rychlost 54Mbit/s. Tento druh přenosu dat (Wi-fi) je i relativně dobře odolný vůči různým překážkám a rušení.

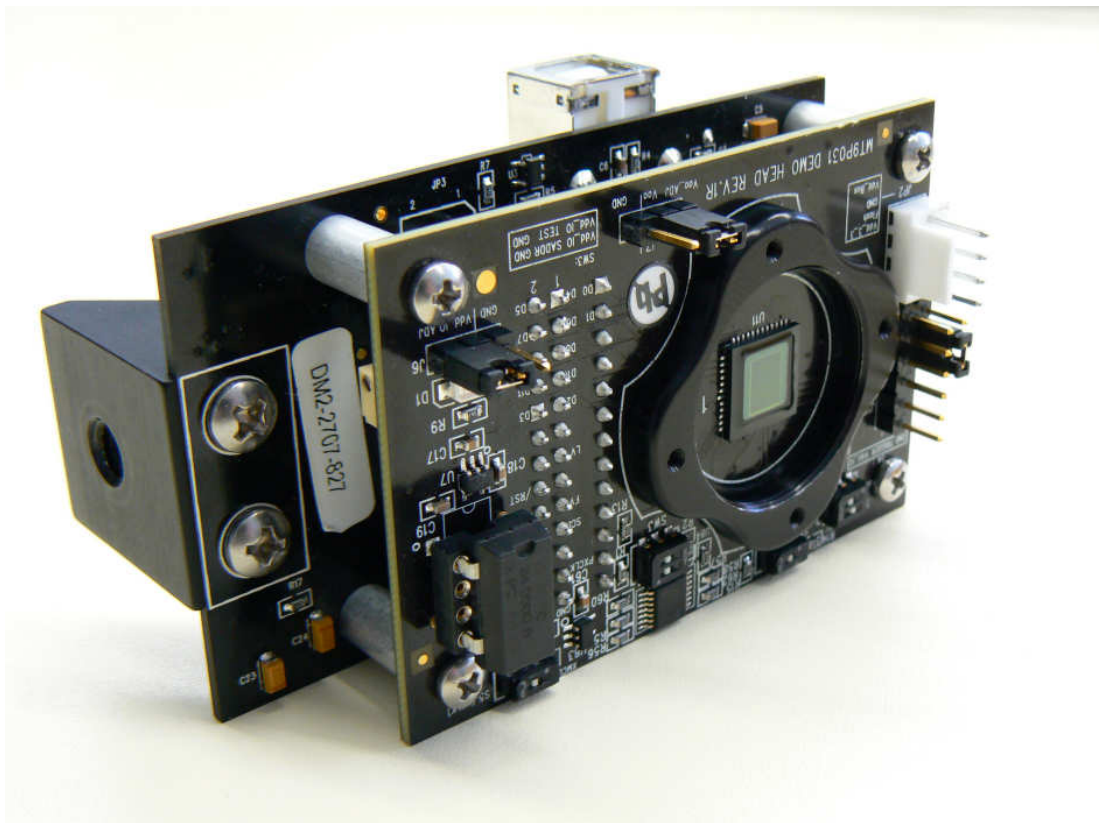
Z výše uvedeného srovnání je jasné, že vhodnější technologie pro bezdrátový přenos video obrazu představuje Wi-fi technologie. Její rychlost se jeví dostačující pro přenos dat na krátké a střední vzdálenosti. Navíc odolnost vůči překážkám je také velice vhodná.

### 3.5 KAMEROVÝ MODUL MICRON

Jako nejvhodnější snímací zařízení, které splňuje většinu požadavků, bylo vybráno zařízení od společnosti Micron MT9P012.

Jedná se o 5 megapixelový CMOS chip o rozměrech 1/3,2 palce, který je osazen na malé desce. Je to vhodné z hlediska toho, že tato deska bude uložena v samotném snímacím zařízení. Pořizování kompletní kamery by proto bylo značně finančně nevýhodné.

Tento chip se vyznačuje velmi vysokým rozlišením 2592 x 1944 pixelů (5Mpixel). Vysoké rozlišení je velmi vhodné pro detekci jednotlivých znaků. Při vysokém rozlišení jednotlivých znaků klesá nepřesnost určení znaku či jeho záměna za znak jiný.



**Obrázek 3.14** Kamera firmy Micron

Napájení i komunikace je provedena přes USB konektor. Využití USB konektoru k napájení výrazně snižuje množství konektorů. Rychlost přenosu dat po USB je rychlý a tudíž jediné omezení kvality obrazu je dáno vnitřním nastavením samotného chipu. Toto vnitřní nastavení se dá modifikovat a tak nastavit nejen snímání ale i formát přenosu snímků..



### 3.6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH KRYTU PRO KAMEROVÝ MODUL

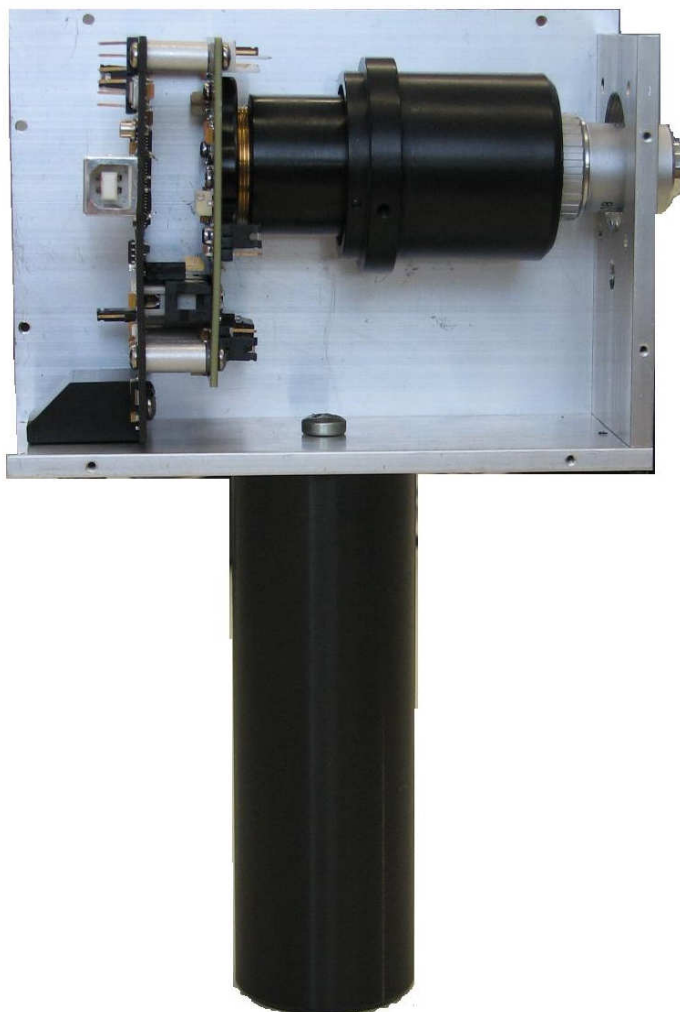
Pro vhodnou práci se snímačem mikroteček bylo nutné, aby celé zařízení s optikou a snímačem bylo dostatečně robustní a odolné. Proto byl navržen prototyp krytu, který tyto požadavky má zajišťovat.

Celý snímací modul je upevněn na pevné duralové desce. K této desce je připevněn pomocí šroubu M6. Je zde využito závitové díry na samotném modulu. K základní desce je pak dále připevněn celý kryt a rukojeť na držení snímače. Důležitá je přední deska. Na ní je umístěn ostřicí závit a osvětlení pro dobré nasvícení snímaného povrchu. Napájení osvětlení je pomocí baterií, které jsou umístěny uvnitř krytu. Jelikož se jedná o prozatímní prototyp, je spousta věcí provizorně navržena.

Jak je vidět na Obrázek 3.15 kamerový modul je umístěn na spodní desce. Optika je pouze přichycena na modulu. Optika částečně vystupuje ze samotného snímače. Je to proto, aby bylo možno lépe snímaný povrch osvětlit při nízké ostřicí vzdálenosti optiky. Celý modul se uchopuje za novodurovou rukojeť.

Jednou z nejdůležitějších částí celého snímacího zařízení je ostřicí kroužek s dorazovými šrouby. Bylo nutné zajistit, aby ostřicí rovina byla různě nastavitelná, proto je celý dorazový prvek opatřen závitem, kterým je možno případný špatně zostřený snímek doostřit.

Dorazové šrouby je před měřením nutné nastavit do roviny. V okamžiku, kdy je rovina nastavena, dotáhnou se kontra matky, aby se zamezilo možnému uvolnění šroubu. Při nastavování roviny byla použita vodní váha pro kontrolu roviny. Na obou koncích se navíc kontrolovala výška okrajů váhy nad podložkou.

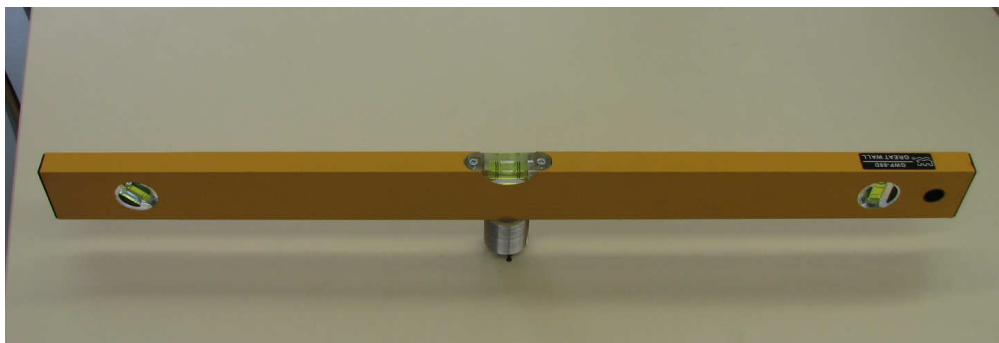


**Obrázek 3.15 Otevřený snímací modul**

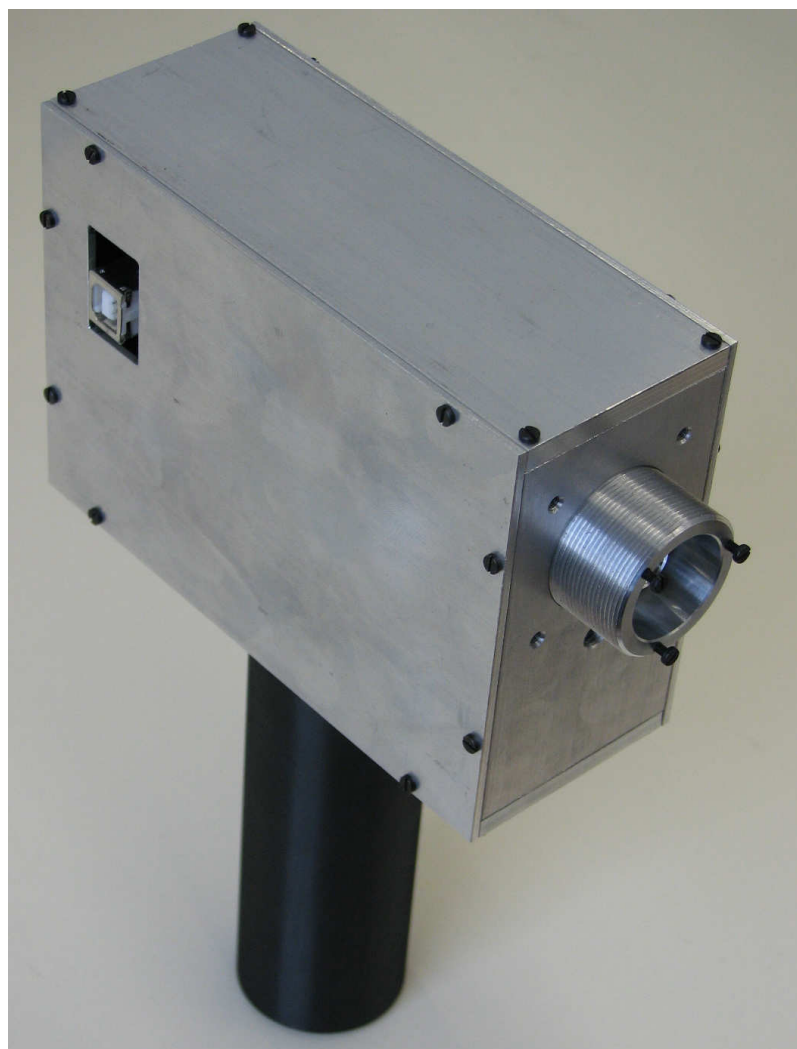


**Obrázek 3.16 Ostřicí kroužek**





**Obrázek 3.17** Nastavení ostřicího kroužku

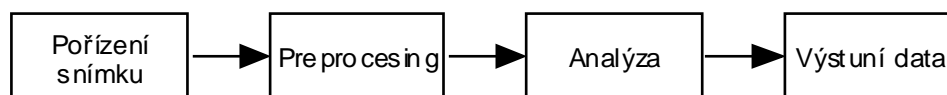


**Obrázek 3.18** Čtečka mikroteček

Výkresy, podle kterých bylo celé zařízení zhotoveno, jsou v příloze.

### 3.7 ANALÝZA SNÍMKU

Při zpracování a následné analýze snímku je nutné dodržovat danou posloupnost zpracování. Na počátku je krok *pořízení snímku*. Touto problematikou se zabývají předchozí kapitoly. Další částí řetězce je *preprocesing* pořízených dat. Jedná se o krok, při kterém jsou data upravena do takové formy, která je co nejvhodnější pro další zpracování snímku. Patří sem např. odstranění šumu, detekce hran, převod z RGB do šedotónové stupnice, atd.



**Obrázek 3.19** Postup zpracování snímku

Výstupní data z preprocesingu jsou dále podrobena *analýze*. Při tomto kroku se z dat extrahují příznaky, podle kterých je prováděno zpracování snímku. Následná výstupní data jsou uzpůsobena tak, aby byla co nejvhodnější pro uživatele.

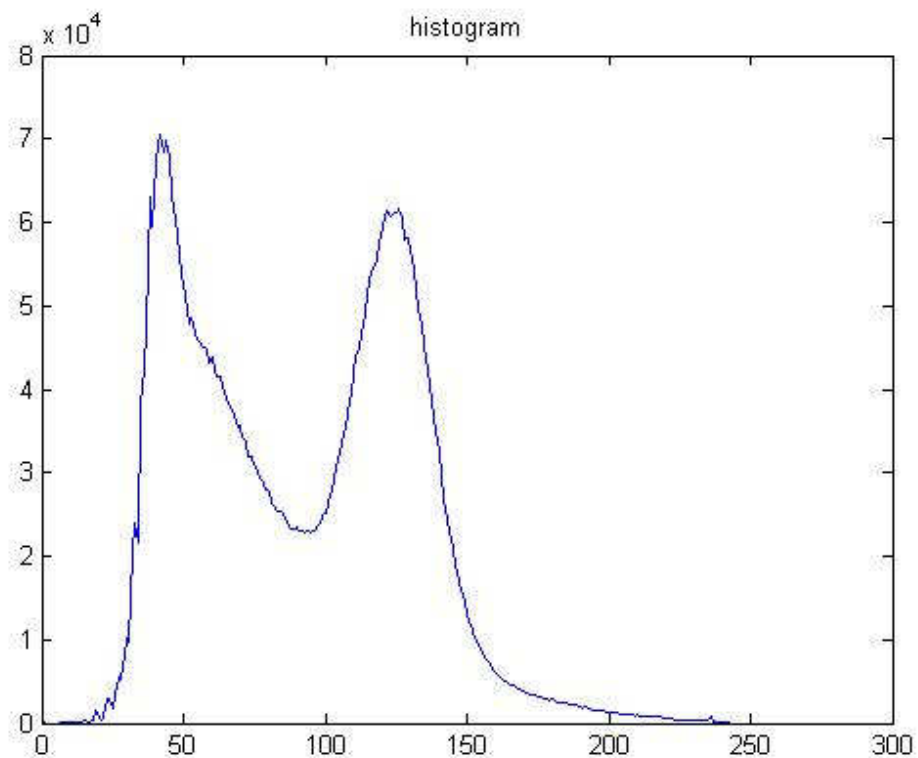
#### 3.7.1 Adaptivní hranování

Při analýze samotného snímku je velmi nutné adaptivní hranování. Je to z toho důvodu, že podklad, na němž je mikrotečka umístěna, může mít různou barvu. Dalším velkým problémem je, když je povrch mechanicky poškozen (poškrábán). Při následném hranování je proto nutné, aby nepatřičné hrany byly posunuty do pozadí a naopak se zvýraznily ty důležité.

Různé nastavování prahů citlivosti různých filtrů (Canny, Sobel,...) dávalo snímky s vysokým množstvím nechtěných a nepotřebných hran. Mezi těmito hranami bylo poté velmi obtížné cokoli detekovat.

Jako nejlepší varianta se ukázalo použití histogramu a následné prahování podle údajů z něj. Každý snímek mikrotečky se skládá ze samotné mikrotečky a jejího okolí. Okolí mikrotečky je závislé na povrchu a mění se. Jediné co se nemění

je samotná mikrotečka. Její velikost a barva je stále stejná. V histogramu se projeví tato barva (odstín šedi) tím, že bude zvýšen počet prvků jasu na příslušné pozici. Dá se předpokládat, že barva (odstín šedi) mikrotečky se bude nepatrně měnit podle osvětlení okolí. Proto se v histogramu vyhledává maximum v okolí předpokládaného výskytu barvy (odstínu šedi). V tomto případě se šedotónový odstín mikrotečky bude pohybovat okolo hodnoty 130.

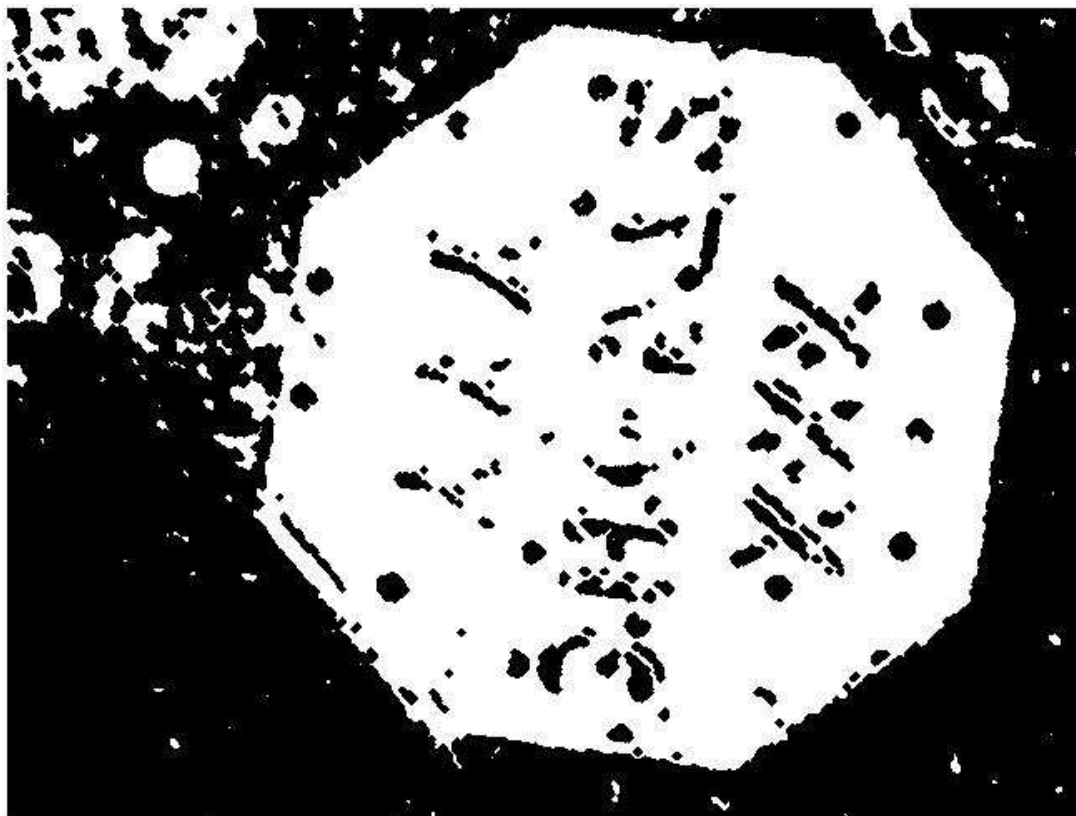


**Obrázek 3.20** Histogram mikrotečky

Jakmile je maximum nalezeno, využije se další vlastnosti histogramu. Na ose  $y$  jsou totiž vynášeny četnosti příslušného jasu. Jelikož se velikost mikrotečky nemění, dá se určit, v jakém rozptylu se pohybují šedotónové odstíny tečky. Následně se hodnoty počtu pixelů v okolí sčítají, dokud se nepřekročí plocha mikrotečky (plocha se dá spočítat na základě počtu pixelů, které tvoří mikrotečku).

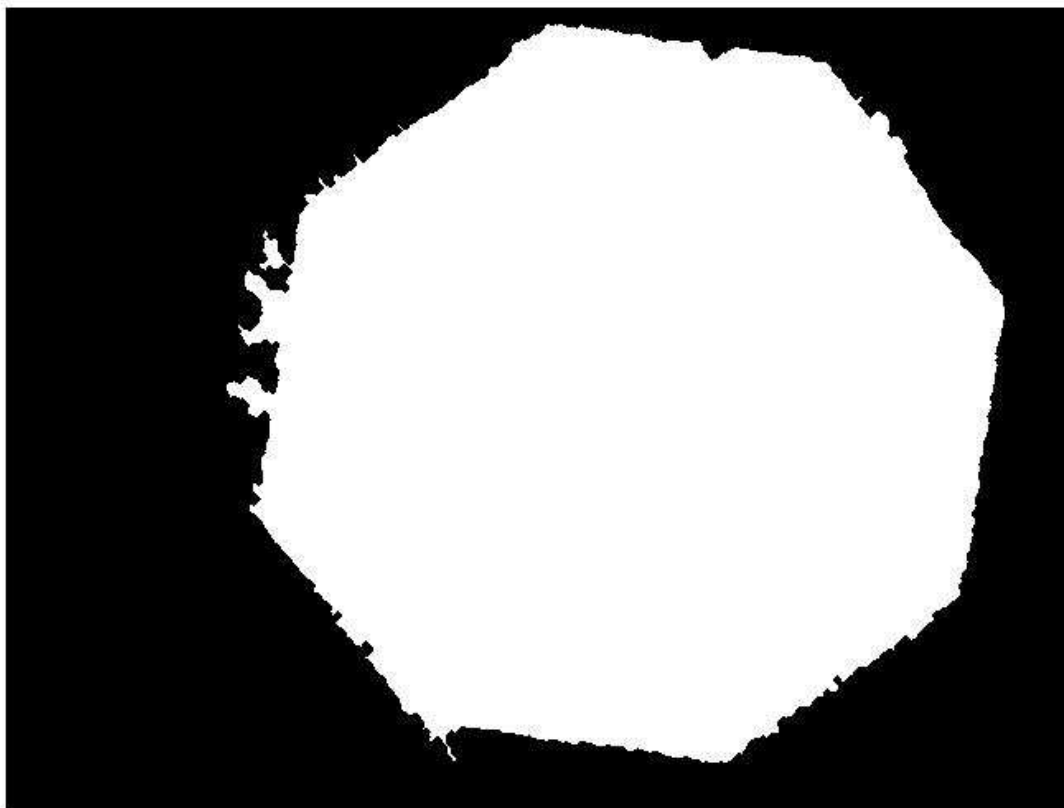
Takto byly nalezeny dva prahy.. Dolní práh udává do které hodnoty se ještě stále jedná o okolí a od které hodnoty už se jedná o tečku. Horní práh udává od které

hodnoty se jedná opět o okolí. Podle těchto nalezených prahů se snímek vyprahuje. Takto je získán binární obraz.



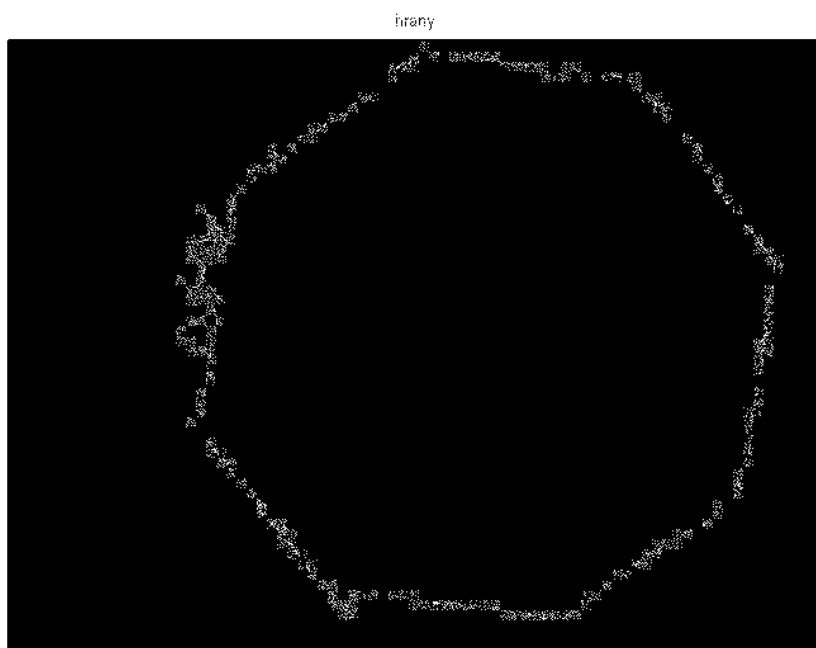
**Obrázek 3.21** Vyprahovaný snímek

Jak je na Obrázek 3.21 je vidět vyprahovaný snímek. V okolí mikrotečky je velké množství nechtěných prvků, které by mohly při detekci hranic mikrotečky způsobit problémy. Proto je vhodné je odstranit.



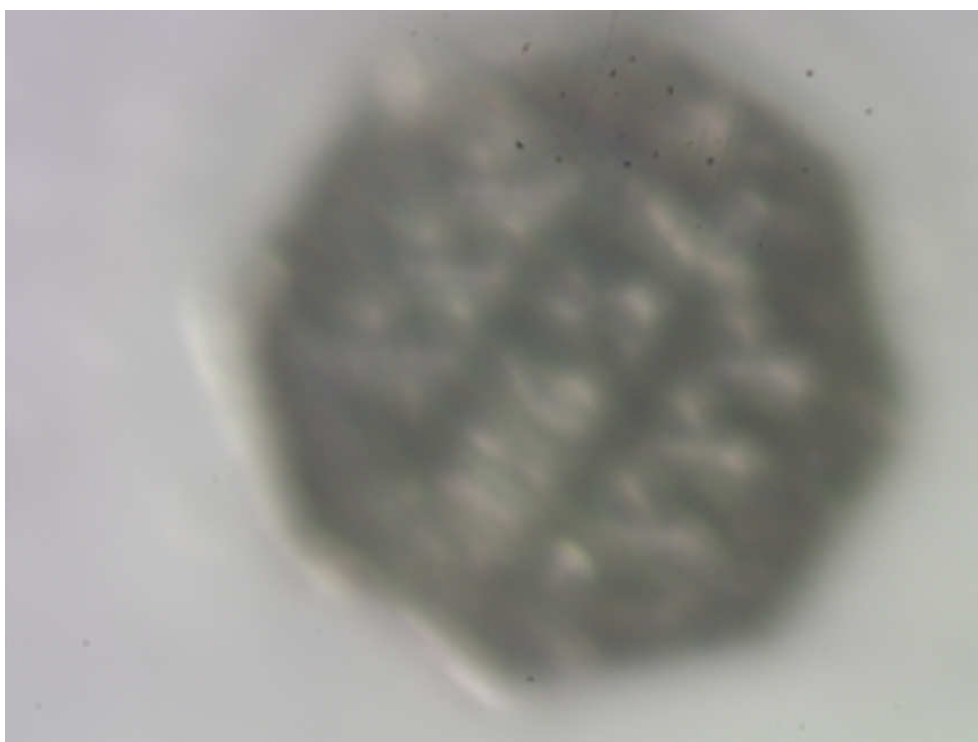
**Obrázek 3.22** Vyprahovaná mikrotečka bez okolí

Na Obrázek 3.22 je již pouze vyprahovaná mikrotečka bez okolí. Hranice tečky jsou sice vlnité a místy i roztřepené, ale to z hlediska dalšího zpracování není tak velký problém. Takto získaný snímek již není problém vyhranovat. Vznikne spojitá struktura, která je uzavřená a připravena k dalšímu zpracování (Obrázek 3.23)

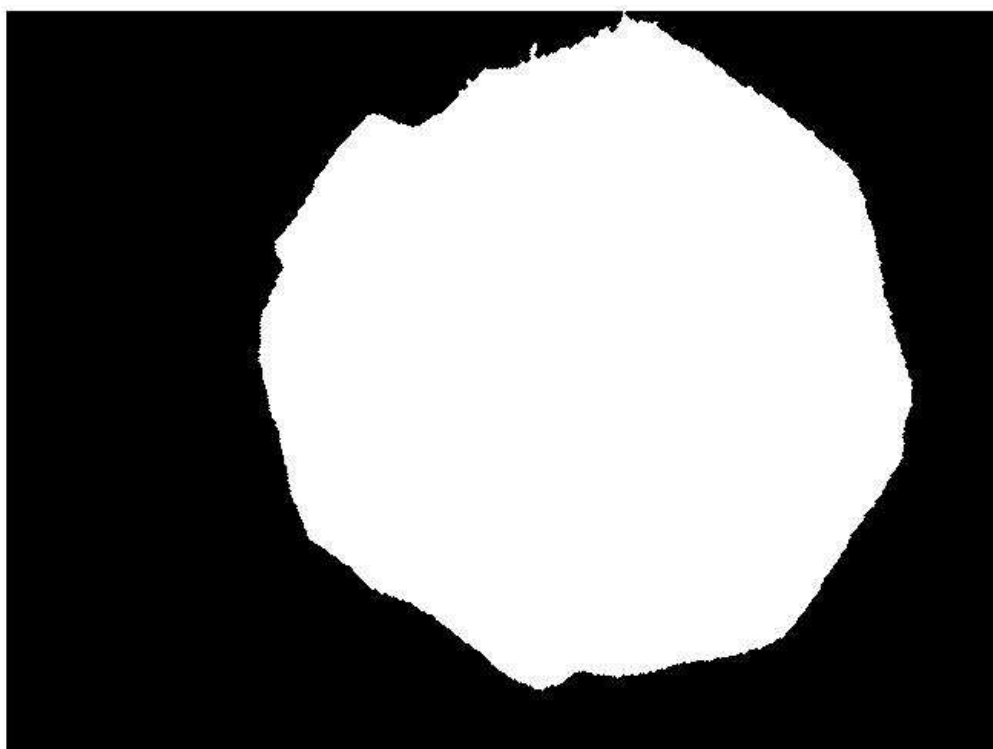


**Obrázek 3.23** Vyhranovaná mikrotečka

Tento postup zpracování snímku má jednu velkou výhodu se kterou by si většina hranových detektorů neporadila. Při pořizování snímku mikrotečky může dojít k rozmazání snímku vlivem malé hloubky ostrosti. Takový snímek můžeme vidět na Obrázek 3.24. Tento snímek je značně rozmazán. Jeho hranice jsou neostře a může docházet k nepřesnému určení hran. Při použití adaptivního hranování, které je popsáno výše, získáme data, která mají charakter mikrotečky. Z těchto dat je pak s trochou úprav v algoritmu možné i detekovat hranice pro vykreslení detailu.



**Obrázek 3.24** Rozmazaný snímek mikrotečky



**Obrázek 3.25** Segmentovaná rozmazaná mikrotečka

### 3.7.2 Detekce hranic mikrotečky

Pokud data mají formát jako na Obrázek 3.23, dá se již detekovat samotná mikrotečka. Pro detekci stran je velmi vhodná metoda RANSAC (2.10). Tato metoda je vhodná zvláště proto, že hranice, které jsou získány z preprocesingu, nejsou ideální úsečky. Proto je vhodné najít přímku, kterou by se daly tyto body proložit.

Jako první krok hledání hranic mikrotečky se z velkého množství pixelů náhodně vybírají dva body. Z těchto bodů je následně sestavena přímka. Pokud je v definovaném okolí přímky a na přímce překročen definovaný počet pixelů, je tato přímka prohlášena za hraniční přímku mikrotečky. Pokud není splněna podmínka o počtu pixelu v okolí, opět se náhodně vyberou dva prvky, které se znovu testují. Pro hledání tohoto kritéria byla použita funkce *linesupport.m*, která byla použita ze zdroje [19]. Pokud zvolená přímka splňuje kritérium hrany vypočítá se podle rovnic její směrnice a posunutí:

$$\begin{aligned}y_1 &= kx_1 + q \\ y_2 &= kx_2 + q\end{aligned}\tag{3.6}$$

kde:

$x_1, y_1$  jsou souřadnice prvního bodu

$x_2, y_2$  jsou souřadnice druhého bodu

Směrnici a posunutí je nutné znát kvůli dalšímu kroku. Jako další se z množství dat hledají přímky kolmé na první nalezenou přímku. Hledání probíhá podle stejného klíče jako při detekci první přímky, jen se zde navíc přidá požadavek na kolmost. Kolmost přímek se dá určit ze známé směrnice. Směrnice kolmé přímky musí splňovat podmínku:

$$k * k_T = -1\tag{3.7}$$



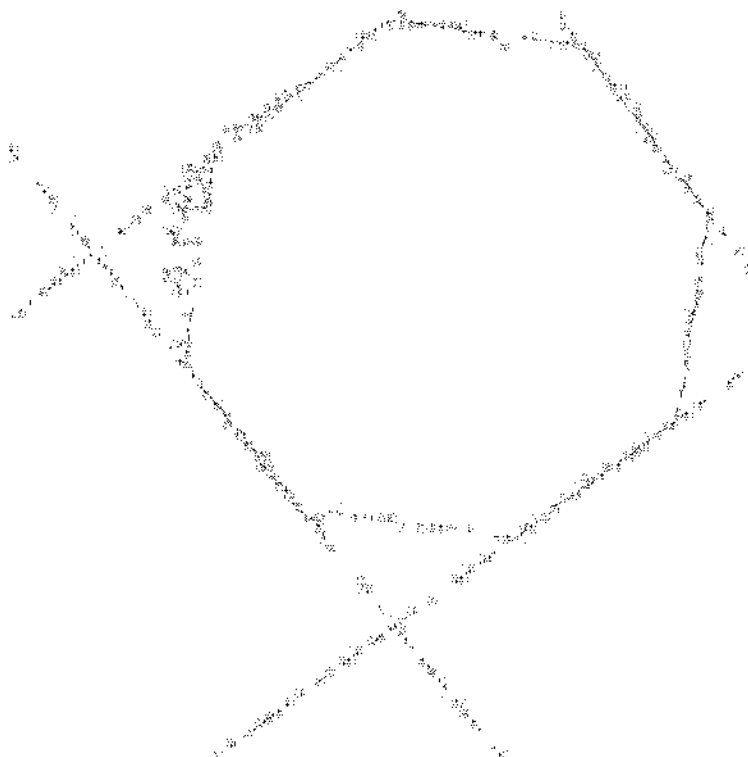
kde:

$k$  je směrnice první přímky

$k_T$  je směrnice přímky kolmé na přímku první

Pomocí této jednoduché podmínky lze snadno nalézt kolmici. Jen u druhé kolmice je ještě navíc přidán požadavek na rozdílné posunutí přímky od první kolmice. Je to z důvodu, aby nebyla nalezena dvakrát stejná přímka.

Poslední přímku, která je rovnoběžná s první nalezenou najdeme pomocí stejného klíče. Rovnoběžnost testujeme podle podobnosti směrnice a rozdílnosti posunutí přímek.



**Obrázek 3.26** Nalezení hranic mikrotečky (invertované barvy)

Na Obrázek 3.26 jsou vidět hraniční přímky. Místa, kde se protínají se dají lehce spočítat. Tyto průniky nám poslouží pro vykreslení detailu.



**Obrázek 3.27** Zobrazený detail tečky

Tento algoritmus vyhledávání mikroteček má jednu velkou výhodu. Pokud budou na snímku dvě mikrotečky, tak algoritmus nalezne pouze jednu. Je to dáno tím, že všechny další nalezené kandidáty na hranici mikrotečky odfiltruje požadavek na kolmost popřípadě rovnoběžnost přímek.

## 4. ZÁVĚR

V diplomové práci, která nese název „Čtecí zařízení mikroteček“ a které předcházely předchozí semestrální práce, jsem se seznámil problematikou snímání a zpracování obrazu.

Celý tento projekt se skládá ze dvou hlavních částí. První část pojednává o návrhu hardwaru a druhá část o softwarovém zpracování obrazu. První část obsahuje první obeznámení s problematikou samotných mikroteček. Jejich reakcí na různé druhy osvětlení a úhly dopadu světla. V této části byly vypracovány základní charakteristiky vztahu světlo a mikroteček.

Další velká část práce pojednává o volbě optiky. Čtenář je obeznámen se základní problematikou optických přístrojů. Jsou zde zmíněna základní kritéria, která jsou nutná pro správnou volbu optiky. V průběhu práce bylo hledáno mezi několika desítkami různých optik, které by mohly splňovat požadavky práce. Nakonec vlivem vysoké ceny většiny vhodných optik byla zvolena optika, která byla používána v laboratoři počítačového vidění.

Dále je v práci pojednáno o přenosu dat pomocí bezdrátového připojení. Dvěma horkými kandidáty byly technologie WIFI a Bluetooth. Při porovnání obou technologií se jako vhodnější jeví zařízení WIFI.

Samotné zpracování obrazu bylo provedeno v programu MATLAB. Tato volba byla provedena z důvodu jednoduchosti práce s obrazem. Velká výhoda tohoto programu je ve velkém množství obsažených knihoven, které velice urychlily práci na projektu. Z počátku byly snímky zpracovávány v Borland Builderu Enterprise v6.0, ale absence knihoven pro základní práci s obrazem (konvoluce, morfologické operace,...) práci velmi zpomalovala, neboť tyto knihovny bylo nutné ručně programovat.

Z nasnímaného obrazu dokáže algoritmus dobře vyhranovat snímek se samotnou mikrotečkou, nalézt její hranice a tento detail zobrazit.



**Obrázek 4.1** Laboratoř počítačového vidění

Následné čtení znaků mikrotečky již nebylo prováděno z důvodu, že čtecí zařízení bylo vyrobeno těsně před termínem odevzdání práce a proto nebylo možno pořídit snímky pro segmentaci znaků. Problém je v tom, že pro správnou činnost algoritmu je nutné znát světelné a ostřicí podmínky snímku. Pokud by snímek byl jinak osvětlen než předchozí snímky, které byly pořízeny v laboratoři počítačového vidění, algoritmus by s největší pravděpodobností selhával. Stejně problémy by způsobilo drobné rozostření obrazu. Rozostřený obraz by totiž neobsahoval takové množství hran a tudíž by následná klasifikace byla chybná.

Tento projekt budu dokončovat v průběhu svého dalšího doktorského studia. Záměrem je, aby tento výrobek byl plně použitelný v praxi a případně komerčně využitelný. Další oblasti jeho možného vývoje vidím v realizaci bezdrátového přenosu dat, použití vyšších prvků zpracování obrazu atd.

Výsledkem této práce je tedy prototyp zařízení, který je možno dále vyvíjet a upravovat podle aktuálních požadavků..

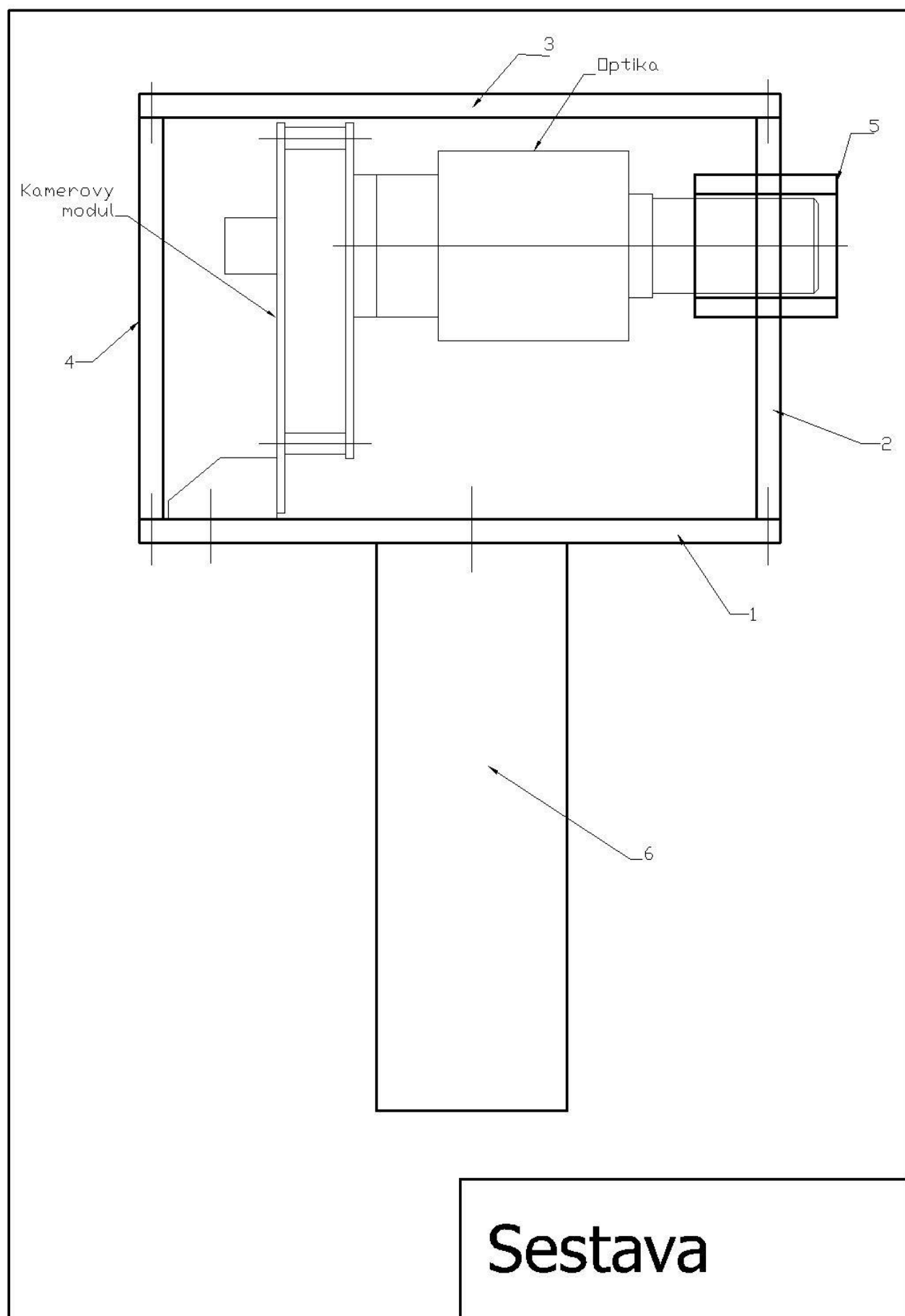
## 5. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Žába, J., Beneš. B., Sochor, J., Felkel, P.: *Moderní počítačová grafika*. Computer press
- [2] ppor. Pokorná E.: *Statistika krádeží automobilů v roce 1998*. Dostupné z <http://www.mvcr.cz>
- [3] Arecont Vision MegaVideo: *AV3130 Network Camera*. Arecont Vison 2006
- [4] Pšenák P.: *Metodika snímání mikroteček pro automatickou identifikaci*. Brno 2006, Bakalářské práce na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí
- [5] Halliday, D., Resnick. R., Walker, J.: *Fyzika: Moderní fyzika*. VUTIUM 2000
- [6] Halliday, D., Resnick. R., Walker, J.: *Fyzika: Elektromagnetické vlny-Optika-Relativita*. VUTIUM 2000
- [7] Koníček, T., Kocábek, P.: *Mikrotečky pomáhají k identifikaci majetku zejména aut.*, dostupné z <http://www.mvcr.cz>
- [8] Gregory T.A. Kovacs: *Micromachined transducers sourcebook*, The McGraw-Hill Companies, 1998, ISBN 0-07-290722-3
- [9] Moravské přístroje, a.s.: *Úvod do techniky CCD čipů*, dostupné z <http://ccd.mii.cz/art?id=303&lang=405>
- [10] FUJINON CCTV LENS: Terminology/Technical Reference, dostupné z [http://www.rmassa.com/specsheets/data\\_terminology.pdf](http://www.rmassa.com/specsheets/data_terminology.pdf)
- [11] Vepřek, D.: *Hloubka ostrosti DOF*, dostupné z <http://www.osk-art.cz/gallery/clanky>
- [12] Jančař, A.: *Optika*, dostupné z <http://amper.ped.muni.cz/sladek/studium.htm>

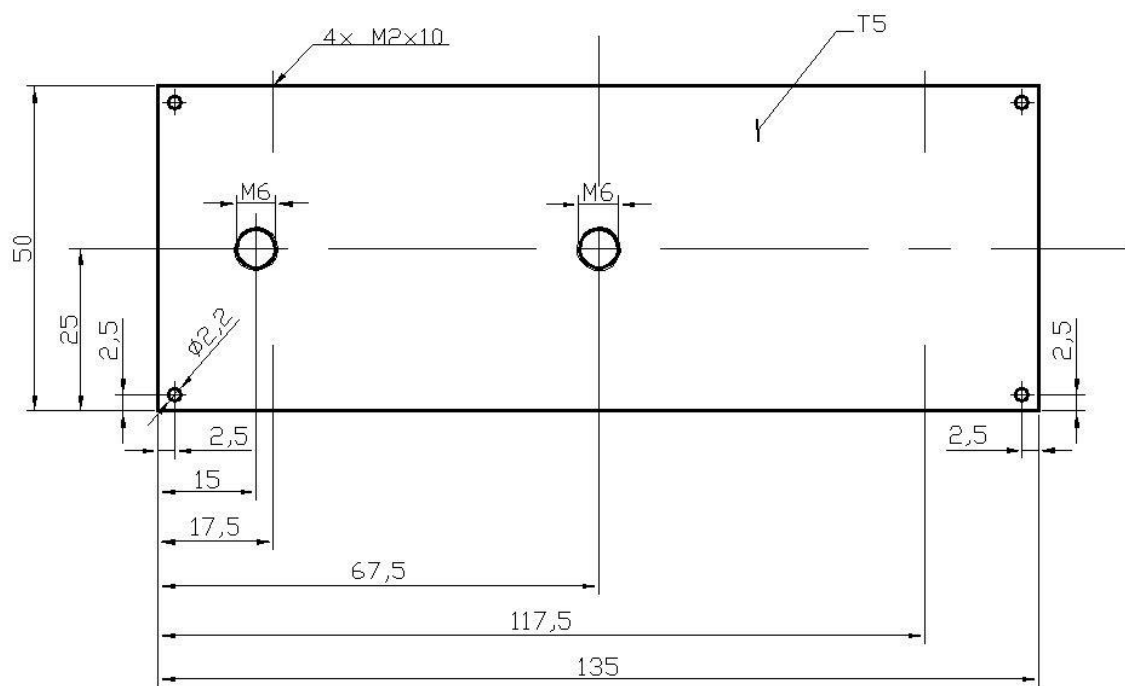
- [13] Hlaváč, V.: *Hledání hran*, .  
Dostupné z <http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/>
- [14] Potůček, I.: *Detekce a parametrizace objektů v obraze, geometrické transformace, RANSAC a jeho aplikace*,  
Dostupné z <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/>
- [15] Hlaváč, V., Kybic, J.: *Lokální předspracování*, Dostupné z  
<http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/>
- [16] *5-Megapixel, 1/3,2-Inch CMOS Digital Image Sensor*, Micron Technology, Inc 2007
- [17] *Image Sensor Demo System Kits*, Micron Technology, Inc 2006
- [18] Wikipedia: *Pixel*, Dostupné z <http://en.wikipedia.org/>
- [19] Riegel, J.: *Detekce primitiv, Houghova transformace, Metoda RANSAC*,  
Dostupné z <http://147.32.196.151/skola/SKOLA-eDock/>

## **SEZNAM PŘÍLOH**

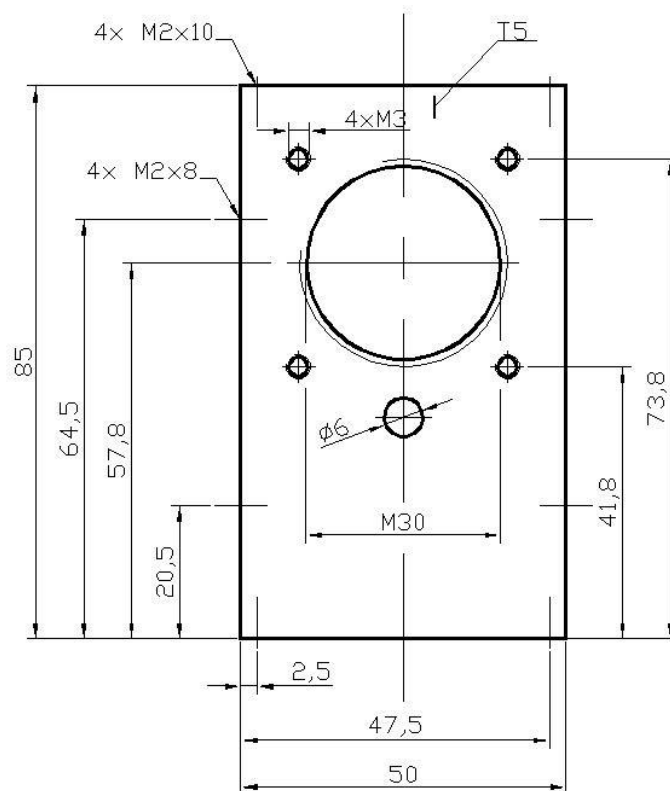
Příloha 1      Výkresy snímače



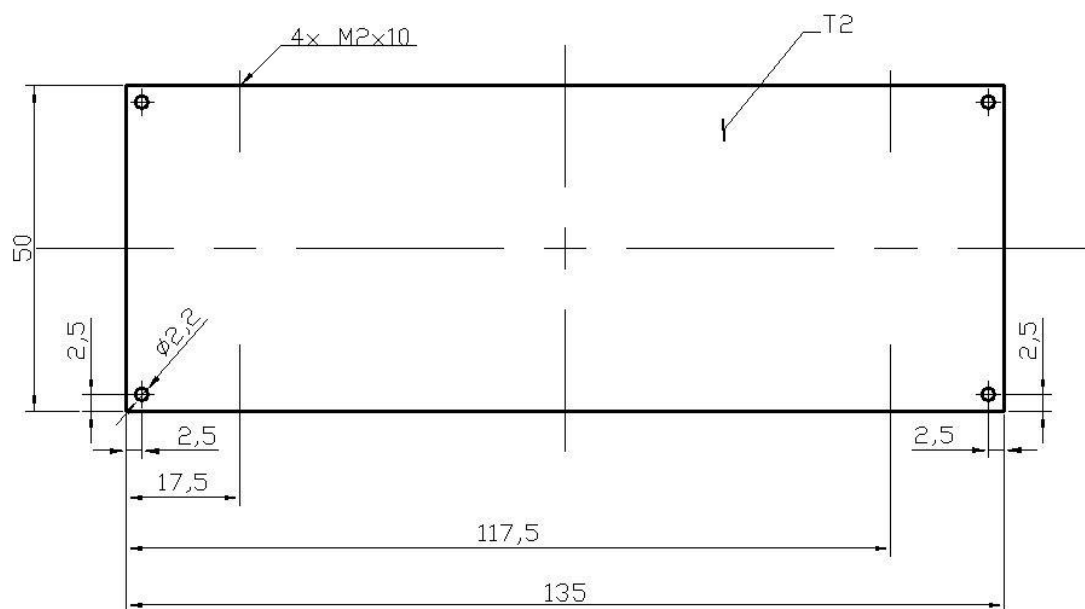




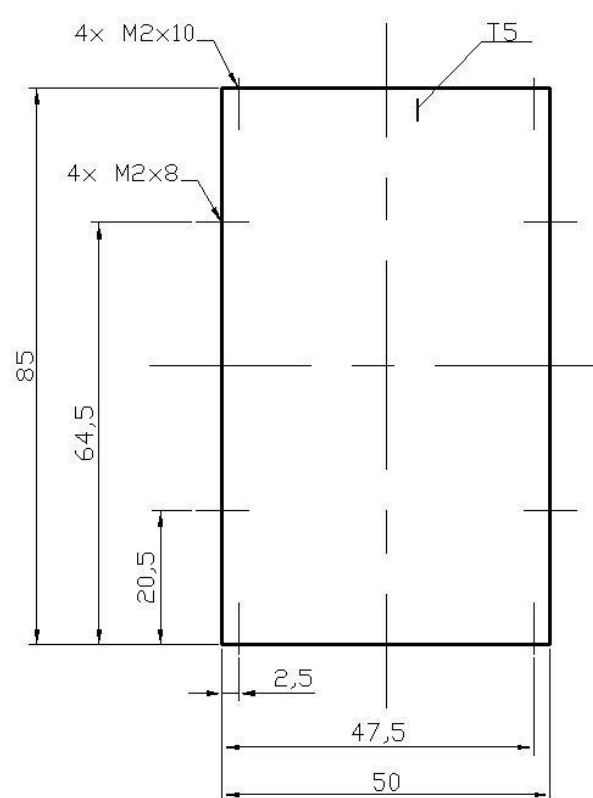
## 1. Spodní deska



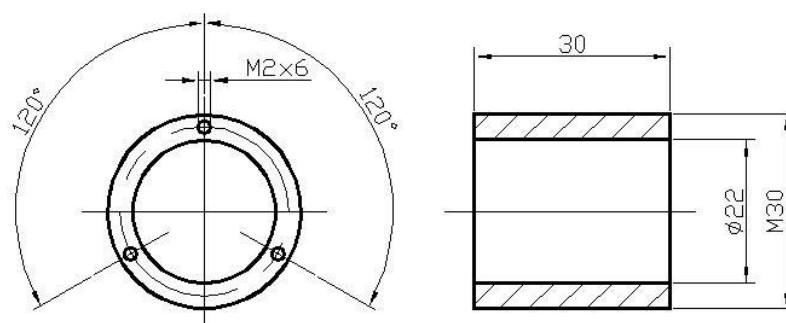
## 2. Čelní deska



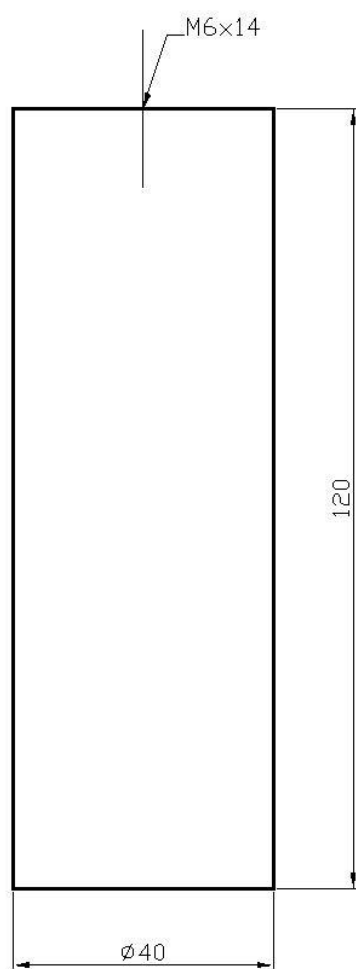
### 3. Horní deska



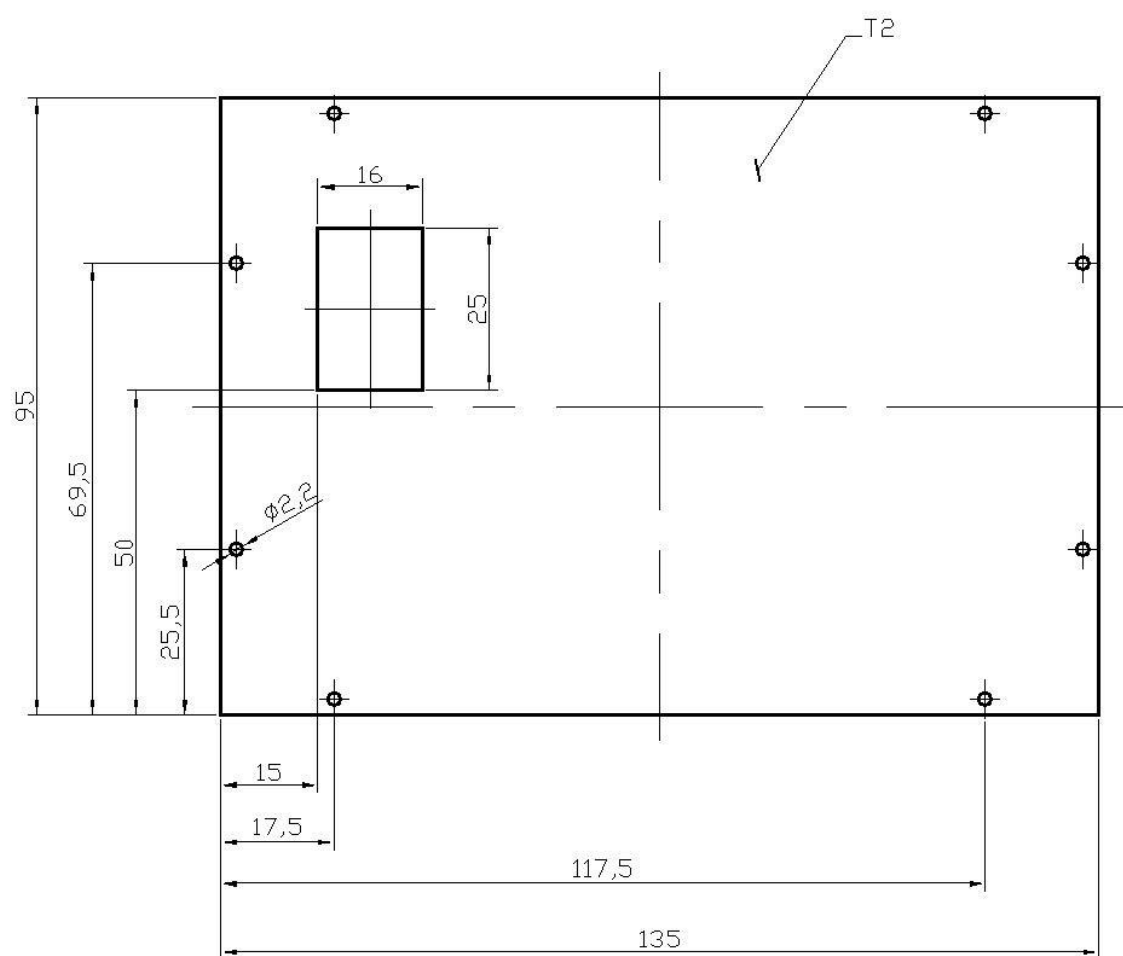
#### 4. Zadní deska



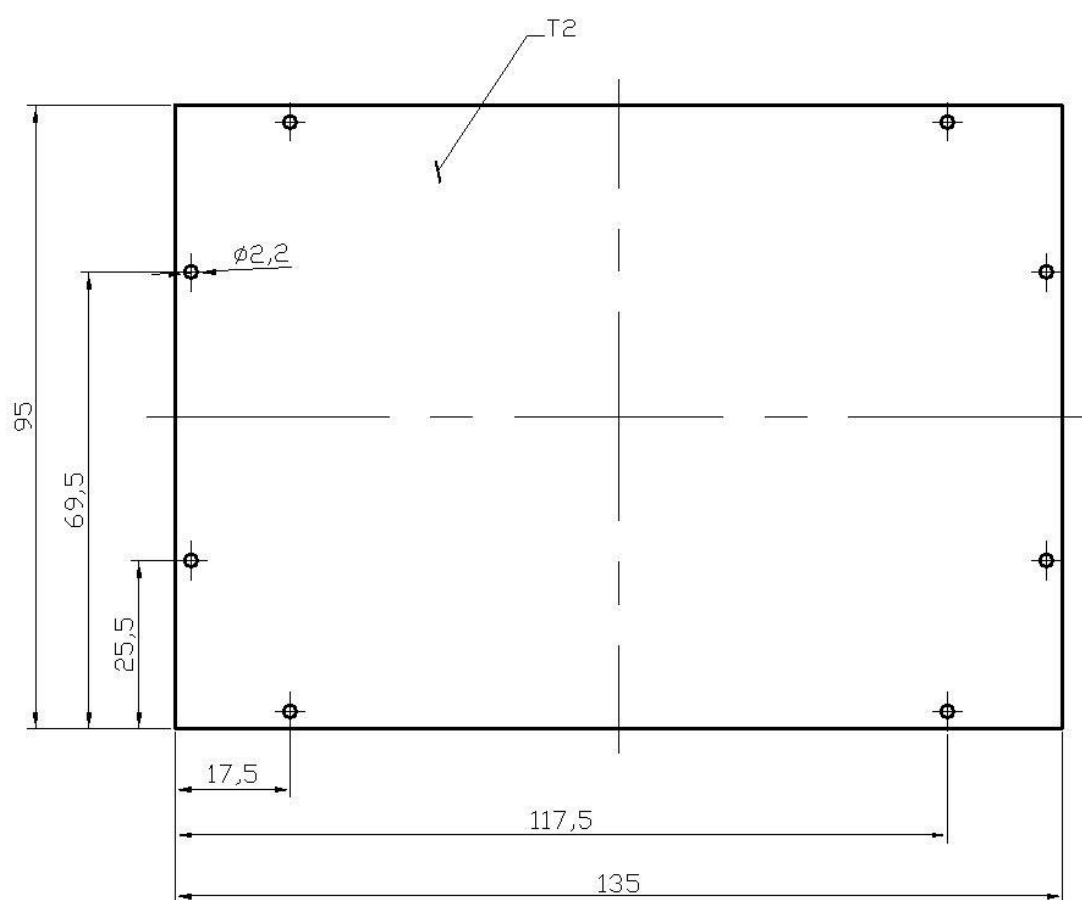
## 5. Závitový kroužek



6. Držák



Boční deska -  
pravá



Boční deska -  
levá